



HAL
open science

Développement méthodologique pour la mise en oeuvre d'une démarche participative d'éco-quali-conception appliquée aux systèmes de production viticoles.

Anthony Rouault

► To cite this version:

Anthony Rouault. Développement méthodologique pour la mise en oeuvre d'une démarche participative d'éco-quali-conception appliquée aux systèmes de production viticoles.. Géographie. Université d'Angers, 2019. Français. NNT : 2019ANGE0011 . tel-02420641

HAL Id: tel-02420641

<https://theses.hal.science/tel-02420641>

Submitted on 20 Dec 2019

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.

THESE DE DOCTORAT DE

L'UNIVERSITE D'ANGERS
COMUE UNIVERSITE BRETAGNE LOIRE

ECOLE DOCTORALE N° 600
Ecole doctorale Ecologie, Géosciences, Agronomie et Alimentation
Spécialité : Sciences Agronomiques

Par

Anthony ROUAULT

Développement méthodologique pour la mise en œuvre d'une démarche participative d'éco-quali-conception appliquée aux systèmes de production viticoles.

Thèse présentée et soutenue à Angers, le 12/03/2019
Unité de recherche : USC GRAPPE (ESA-INRA)

Rapporteurs avant soutenance :

Chantal LOYCE Maître de conférences, HDR, AgroParisTech
Arnaud HELIAS Maître de conférences, HDR, Montpellier SupAgro

Composition du Jury :

Président : Benoît GABRIELLE Professeur, HDR, AgroParisTech, UMR EcoSys
Examineurs : Luigi BAVARESCO Professeur associé, Università Cattolica Del Sacro Cuore (Piacenza, Italie)
 Jean-Marc MEYNARD Directeur de recherche, HDR, INRA, UMR SAD-APT
Dir. de thèse : Frédérique JOURJON Directrice de la recherche et de la valorisation, HDR, Ecole Supérieure
 d'Agricultures d'Angers, USC Grappe (ESA-INRA)

Invité(s)

Christel RENAUD-GENTIE Enseignante-chercheuse, PhD, Ecole Supérieure d'Agricultures d'Angers,
 USC Grappe (ESA-INRA)
Aurélié PERRIN Ingénieure de recherche, PhD, INRA, USC Grappe (ESA-INRA)
Vincent COLOMB Ingénieur, Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME)

*A mes grands-parents,
A mes parents, à Coralyne, Melvyn et Gaëlyze,*

REMERCIEMENTS

Merci à Frédérique, Christel et Aurélie pour votre disponibilité, le temps consacré, les nombreuses idées partagées et pour votre confiance tout au long de ces trois années de thèse. Merci également aux membres de mon comité de suivi de thèse pour cette richesse d'idées et de points de vue partagés une fois par an. Merci à tous d'avoir grandement contribué à rendre ce travail pertinent et réalisable en 3 années !

Merci supplémentaire à Christel et Aurélie pour votre aide opérationnelle pour la préparation et la réalisation des ateliers. Merci à Séverine également pour son aide précieuse dans la préparation et la réalisation de ces mêmes ateliers. Merci beaucoup à Emmanuelle pour son aide dans l'animation de la 2^e session d'ateliers. Thank you Marguerite for the discussions about LCA and your positive energy.

Merci aux ingénieurs réseau Déphy, à la cave Robert et Marcel et aux viticulteurs des groupes Déphy Anjou et Saumur pour leur participation aux ateliers et leurs contributions essentielles dans ces travaux de thèse. Un grand merci aux viticulteurs qui ont pu prendre le temps, en plus des ateliers, de nous accueillir sur leurs exploitations ou chez eux et de répondre à nos questions.

Merci à l'ensemble du laboratoire GRAPPE pour l'ambiance conviviale et bienveillante qui y règne au moins depuis mon arrivée en 2014 ! Merci plus particulièrement (et pour les mêmes raisons) aux collègues du campus du végétal. Le campus, c'est loin mais c'est bien !

Merci à Sandra pour ta proposition de stage il y a 5 ans qui a initié tout ce travail accompli. Merci à Catherine Ricordel, Anne Cikankowitz, Claire Déchaux et Lynda Aissani pour l'initiation à l'ACV il y a maintenant plus de 5 ans. #PhDOrigins

Merci à l'association Paren(thèse) Bretagne-Loire pour leur initiative et l'aide précieuse qu'elle m'a apportée dans la rédaction de mon manuscrit lors de ces derniers mois de thèse. Je souhaite longue vie à cette initiative et j'invite tout.e doctorant.e à visiter l'un de ces 2 liens pour participer ou lancer une initiative similaire si elle n'existe pas dans sa région : <https://pthbl.weebly.com/> ; https://www.facebook.com/pg/ParenTh%C3%A8se-Bretagne-Loire-152978401923966/about/?ref=page_internal

Merci au team Angers (Justine, Mathieu, Charlène, Clémence, Paul, Baptiste, Céline et plus récemment David) pour tous ces souvenirs angevins et ceux à venir (à Angers ou ailleurs). Merci à la team EME & cie pour tous ces week-ends, soirées, festivals, soirées de nouvelle année et vacances incroyables passées ensemble. Merci donc à Cédric, Lorène, Romain, Fanchon, Mathias, Maryse, Nabil, Baptiste, Aurèle, Elo, Thibaud, Elena, Nolwenn, Marine, Vincent, Albin (et son Vianney Fan Club), Doudoux, Maïa, Amandine, Clémence, Audrey, Annabelle, Brendan, Bastien, Boris, Barbiche/beach/beuc/bûch', Emilie, Dr Coquin, Florian, Thomas et Sarah. Pourvu que ça dure ! Petit clin d'œil et merci à Charlie également même si on s'est moins vu depuis 4 ans... ;-)

Immense merci à mes parents, à Coralyne, Melvyn et Gaëlyze pour les valeurs et l'énergie que vous me donnez depuis toujours et au quotidien. Même si, concernant l'énergie, ça n'est pas toujours visible... ;-)

Immense merci également au reste de la famille, en particulier mes grands-parents, Lolo, Chantal et Jean-Pierre (merci pour la résidence de rédaction l'été dernier !), Vincent et Cindy. Enfin, grosses pensées pour Mamie St-Malo et Papy Orgères.

SOMMAIRE

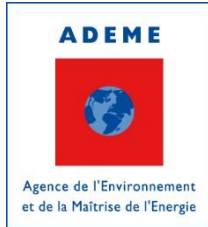
SOMMAIRE	3
AVANT-PROPOS	6
Liste des publications	7
CHAPITRE 1 : Introduction générale	9
Introduction.....	10
Contexte et enjeux	13
1. Les enjeux environnementaux de l'agriculture	13
2. Les enjeux du changement de pratiques en viticulture.....	13
3. Un besoin de changer la façon de concevoir les systèmes agricoles	14
4. L'éco-conception pour réduire les impacts environnementaux des produits.....	15
5. L'importance de la phase agricole dans les résultats d'ACV des produits alimentaires.....	16
Ecodesign of innovative agricultural production systems: a review of opportunities and challenges.	18
1. Introduction: Opportunities for applying ecodesign to the agricultural sector	19
2. Learning from ecodesign applications outside of the agricultural sector	21
3. Current practices for innovative design of agricultural systems	25
4. Challenges for 'Eco designing' agricultural production systems	28
5. Conclusions and future works	31
Problématique et démarche	33
Références.....	37
CHAPITRE 2 : Lever les verrous liés à l'utilisation de l'ACV dans une démarche participative d'éco-conception d'itinéraires techniques viticoles	48
Avant-propos.....	49
Challenging LCA in a participatory eco-design approach in agriculture: the example of vineyard management.	50
1. Introduction.....	51
2. Material & Methods	52
3. Results	60
4. Discussion	68
5. Conclusion	70
References.....	71
Supplementary material.....	74

CHAPITRE 3 : Mise en place d’une démarche participative d’éco-quali-conception® d’itinéraires techniques viticoles	79
Avant-propos.....	81
Proposition of a participatory and LCA-based ecodesign approach to assist farmers in their practice change : The case study of vineyard management in the Loire Valley (France).....	82
1. Introduction.....	82
2. Material & Methods	84
3. Results	90
4. Discussion	99
5. Conclusion	101
Supplementary material.....	102
Atelier Qualité	111
1. Introduction.....	111
2. Matériel et méthodes.....	112
3. Résultats	115
4. Discussion	118
5. Conclusion	119
Références.....	120
CHAPITRE 4 : Discussion générale	123
Rappel des objectifs et synthèse des principaux résultats.....	124
Contributions pour l’application de l’éco-conception en agriculture et perspectives.....	126
1. Intérêts et limites de l’itinéraire technique annuel comme objet de conception.....	126
2. Limites liées au choix des acteurs et au mode de participation retenu	126
3. Intérêts et limites des méthodes et des critères d’évaluation retenus.....	128
4. Intégration de la qualité du raisin au processus de conception	130
5. Contribution à la transition agro-écologique en viticulture	131
Perspectives de recherche	133
1. Continuité des travaux au sein de l’USC GRAPPE	133
2. Pistes pour introduire plus d’ACV dans les approches de conception innovantes.....	134
Références.....	135
CONCLUSION GENERALE	137
REFERENCES	139
Liste des figures	150

Liste des tableaux	151
ANNEXES	152
Annexe 1 : Article publié dans Oeno One (Rouault et al., 2016).....	152
Annexe 2 : Tableaux de scores d'impact pour les TMR initiaux et éco-conçus.....	175

AVANT-PROPOS

Les travaux de cette thèse ont été co-financés par l'ADEME et la Région Pays de Loire.



Ils se sont déroulés au sein de l'USC Grappe (ESA-INRA). Ils ont été dirigés par Mme Frédérique Jourjon, habilitée à diriger les recherches, et co-encadrés par Mme Christel Renaud-Gentié et Aurélie Perrin.



Liste des publications

Ce travail a fait l'objet des publications suivantes :

ARTICLES DANS DES REVUES INTERNATIONALES OU NATIONALES AVEC COMITE DE LECTURE (ACL) :

Publié :

Rouault, A. ; Beauchet, S. ; Renaud-Gentié, C. ; Jourjon, F. 2016. *Life Cycle Assessment of viticultural technical management routes (TMRs): comparison between an organic and an integrated management route*. **Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin** 50(2): 77-89.

Soumis :

Rouault, A. ; Perrin, A. ; Renaud-Gentié, C. ; Julien, S. ; Jourjon, F. *Challenging LCA in a participatory eco-design approach in agriculture: the example of vineyard management*. **International Journal of Life Cycle Assessment**. (Soumis le 31/01/2019)

A soumettre en 2019 :

Perrin, A. ; Rouault, A. ; Renaud-Gentié, C. ; Renouf, M. ; Jourjon, F. ; Meynard, J.-M. *Ecodesign of innovative agricultural production systems: a review of opportunities and challenges*. **Journal of Cleaner Production**.

Rouault, A. ; Perrin, A. ; Renaud-Gentié, C. ; Julien, S. ; Jourjon, F. *Proposition of a participatory and LCA-based ecodesign approach to assist farmers in their practice change : The case study of vineyard management in the Loire Valley (France)*. **Agronomy for Sustainable Development**.

COMMUNICATIONS ORALES AVEC ACTES DANS UN CONGRES INTERNATIONAL (ACTI)

Rouault, A. ; Perrin, A. ; Renaud-Gentié, C. ; Julien, S. ; Jourjon, F. *Using LCA for participatory eco-design in agriculture: The case of Technical Management Routes (TMR) design with winegrowers and extension officers*. In: **11th International Conference on Life Cycle Assessment of Food 2018 (LCA Food)**. 17-19 Octobre 2018, Bangkok - Thaïlande.

COMMUNICATIONS PAR AFFICHE DANS UN CONGRES INTERNATIONAL OU NATIONAL (AFF)

Rouault, A. ; Beauchet, S. ; Renaud-Gentié, C. ; Jourjon, F. *Grape LCA : How to better assess organic and integrated technical management routes ?*. In: **SETAC Europe 26th Annual Meeting**. 22-26 Mai 2016, Nantes – France.

Rouault, A. ; Renaud-Gentié, C. ; Jourjon, F. ; Perrin, A. *Using LCA and coupling it with grape quality evaluation for a new eco-design approach in viticulture*. In: **SETAC Europe 22nd LCA Case Study Symposium**. 20-22 Septembre 2016, Montpellier – France.

Rouault, A. ; Renaud-Gentié, C. ; Jourjon, F. *How to manage éco-quali-conception concept based on LCA analysis in the wine sector ?* In: **11th International Conference on Life Cycle Assessment of Food 2016 (LCA Food)**. 19-21 Octobre 2016, Dublin – Irlande.

Rouault, A. ; Renaud-Gentié, C. ; Jourjon, F. ; Perrin, A. *Utiliser l'ACV et la coupler à l'évaluation de la qualité du raisin pour une nouvelle démarche d'éco-conception en viticulture*. In: **Journées Scientifiques de l'Ecole Doctorale VENAM**. 3-4 Novembre 2016, Nantes – France.

COMMUNICATIONS ORALES SANS ACTES DANS UN CONGRES INTERNATIONAL OU NATIONAL (COM)

Rouault, A. ; Renaud-Gentié, C. ; Perrin, A. ; Jourjon, F. *Mise en œuvre d'une démarche participative d'éco-quali-conception appliquée aux systèmes de production viticoles*. In : **10^{ème} édition de la Journée des Doctorants de la SFR Quasav**. 3 Octobre 2017, Angers – France.

AUTRES PRODUCTIONS (AP)

Rouault, A. ; Renaud-Gentié, C. ; Perrin, A. ; Jourjon, F. *Eco-quali-conception® : Pour de nouveaux itinéraires techniques viticoles*. Communication vidéo. In : **Journée d'échanges sur la conception de systèmes de culture pour et par les agriculteurs**. 25 Septembre 2018, Paris – France.

CHAPITRE 1 : INTRODUCTION GENERALE

Introduction	10
Contexte	13
1. Les enjeux environnementaux de l'agriculture	13
2. Les enjeux du changement de pratiques en viticulture	13
3. Un besoin de changer la façon de concevoir les systèmes agricoles	14
4. L'éco-conception pour réduire les impacts environnementaux des produits	15
5. L'importance de la phase agricole dans les résultats d'ACV des produits alimentaires	16
Ecodesign	18
1. Introduction: Opportunities for applying ecodesign to the agricultural sector	19
2. Learning from ecodesign applications outside of the agricultural sector	21
2.1. Definition of ecodesign	21
2.2. The wealth of ecodesign tools for industries	21
2.3. Hindrances to implementing eco-design for environmental management in companies	23
3. Current practices for innovative design of agricultural systems	25
3.1. De novo' design versus step-by-step design	25
3.2. The role of assessment into innovative design	26
3.3. The benefits of co-design to support transition toward innovative systems	27
4. Challenges for 'Eco designing' agricultural production systems	28
4.1. Potential input from LCA to agricultural system design approach	28
4.2. The need for a participatory approach of ecodesign	28
4.3. Participatory ecodesign renews scientific challenges for LCA	30
5. Conclusions and future works	31
Problématique	33
Références	37

Introduction

L'agriculture, comme l'ensemble des activités humaines, doit répondre aujourd'hui à un enjeu de plus en plus prégnant : la maîtrise et la réduction de ses impacts environnementaux. Les changements de pratiques agricoles depuis la seconde moitié du 20^e siècle ont en effet plusieurs impacts sur l'environnement : toxicité pour l'homme, eutrophisation, écotoxicité pour la faune et la flore des milieux aquatiques, réchauffement climatique, dégradation des sols et acidification des milieux (Stoate et al. 2001; Tilman et al. 2002; van der Werf and Petit 2002). Dans la filière viticole, les enjeux environnementaux sont similaires et peuvent être classés en 6 catégories : utilisation et qualité de l'eau, gestion des déchets solides (organiques ou non), consommation énergétique et émissions de gaz à effet de serre (GES), utilisation de produits chimiques, utilisation des terres et impacts sur les écosystèmes (Christ and Burritt 2013).

La viticulture se distingue des autres filières agricoles par la forte valeur ajoutée de sa production. En France, comme c'est le cas aussi en Italie par exemple, la plupart des vins produits sont vendus sous signe de qualité et d'origine (IGP, AOP, AOC), 93% en 2016 (INAO 2017). Si l'on ajoute à cela la multitude de cépages utilisés, le marché du vin est donc très segmenté et la qualité du vin est un facteur de différenciation très important. La qualité du vin est en effet un critère d'achat particulièrement important chez les consommateurs de vin (Botonaki and Tsakiridou 2004; Jover et al. 2004). A tel point que la majorité des consommateurs de vin ne seraient pas prêts à favoriser les performances environnementales au détriment de la qualité du vin (Jourjon et al. 2017; Lockshin and Corsi 2012). En Europe, les signes de qualité sont régis par des cahiers des charges qui peuvent limiter la latitude du changement de pratique, notamment au vignoble. Ceux-ci sont cependant définis par les viticulteurs eux-mêmes à l'échelle d'une appellation et peuvent également faire l'objet de modifications, notamment pour y intégrer des mesures agroécologiques (voir décret ministériel de mars 2016). Les viticulteurs orientent donc leurs choix de pratiques en fonction de leur objectif de production et de marchés. Plusieurs interventions techniques au vignoble visent directement à maîtriser la qualité du raisin via la maîtrise de la vigueur et du rendement (Coulon 2012; Guilpart 2014).

Pour répondre aux nouveaux enjeux de l'agriculture, une reconception des systèmes agricoles apparaît nécessaire (Meynard et al. 2012). Différentes démarches de conception de systèmes agricoles ont été proposées (Lacombe et al. 2018; Le Gal et al. 2011; Martin et al. 2012; Meynard et al. 2012). Celles-ci peuvent consister en des ateliers entre chercheurs et experts (Lançon et al. 2008) mais intègrent bien souvent des agriculteurs à la démarche (Barbier et al. 2011; Gouttenoire et al. 2013; Hossard 2012; Lefèvre et al. 2013; Martin et al. 2011; Moraine et al. 2016; Petit et al. 2012; Reau et al. 2012; Simon et al. 2016). Quelques démarches de conception ont été testées en viticulture pour concevoir des prototypes d'itinéraires techniques à tester sur site expérimental (Lafond and Metral 2015) ou pour accompagner des viticulteurs dans la re-conception de leurs pratiques (Lallemand 2014; Masson 2014). L'intégration des agriculteurs dans les démarches de recherche se justifie aujourd'hui par les connaissances et savoir-faire locaux dont ces démarches peuvent bénéficier. Elle se justifie également par un fort besoin d'accompagnement des agriculteurs pour créer de nouveaux modèles agricoles, les modèles actuels étant aujourd'hui fortement remis en cause (Meynard et al. 2012).

L'éco-conception vise à intégrer des aspects environnementaux dans le processus de développement d'un produit avec l'objectif de réduire les impacts environnementaux négatifs tout au long de son

cycle de vie (ISO 2002). Cette démarche a principalement été appliquée dans les industries manufacturières. Il existe quelques références sur l'éco-conception en agro-alimentaire (Bertoluci and Trystram 2013; Pôle Eco-conception 2016) et très peu sur l'éco-conception des pratiques agricoles ou d'un itinéraire technique. Les premiers travaux sur l'éco-conception en agriculture ont porté sur la filière du pain et sont basés sur des résultats d'Analyse du Cycle de Vie (ACV) (Kulak et al. 2016). Ceux-ci ont montré que l'ACV pouvait fournir des informations précieuses malgré quelques limites pour la génération de nouvelles idées et que l'intégration d'un dialogue entre experts et agriculteurs pourrait améliorer le processus.

L'Analyse du Cycle de Vie (ACV) est une méthode normée (ISO 2006a, b) et reconnue comme pertinente pour développer des systèmes agricoles plus durables (Andersson 2000). Son application aux systèmes de production agricoles se développe depuis plusieurs décennies sur différentes filières et à travers le monde (Roy et al. 2009). Si l'utilisation de l'ACV en agriculture comme outil d'évaluation est largement répandue, son utilisation pour concevoir des systèmes agricoles l'est très peu et la littérature sur l'éco-conception en agriculture est très rare. Dans la filière viticole, plusieurs études ACV existent également (Benedetto 2013; Gazulla et al. 2010; Neto et al. 2012; Penavayre et al. 2016; Point et al. 2012; Vázquez-Rowe et al. 2016). Elles montrent une contribution importante des pratiques viticoles aux impacts totaux d'une bouteille de vin et quelques auteurs se sont donc intéressés de manière plus ciblée aux impacts des pratiques viticoles (Beauchet 2016; Renaud-Gentié 2015; Rouault et al. 2016; Villanueva-Rey et al. 2014).

Ces travaux de thèse ont été menés au sein de l'USC GRAPPE (ESA-INRA) dont les problématiques de recherche portent sur l'évaluation multicritère de la qualité des produits, la construction de la qualité des produits en lien avec la perception des experts et consommateurs et la co-conception de produits à qualité différenciée. Ces travaux sont dans la continuité des travaux de thèse menés par Christel Renaud-Gentié (2015) puis par Sandra Beauchet (2016). La thèse de Christel Renaud-Gentié aura permis de définir un cadre méthodologique permettant l'adaptation de la méthode ACV à la viticulture. Ce cadre méthodologique permet de réaliser l'ACV d'un itinéraire technique viticole. Dans un souci de permettre une évaluation multicritère des itinéraires techniques viticoles, Sandra Beauchet a développé une méthode nommée CONTRA-Qualenvic (Botreau et al. 2018). Celle-ci permet d'agrèger entre eux, selon un protocole identique, les résultats d'évaluation environnementale (ACV) d'un itinéraire technique et les résultats d'évaluation de la qualité du raisin.

Cette 3ème thèse autour de l'évaluation environnementale des itinéraires techniques viticoles par la méthode ACV a pour objectif de mettre en œuvre une démarche participative permettant la conception d'itinéraires techniques viticoles intégrant la double performance environnement-qualité du raisin. Cette démarche sera donc la première application du concept d'éco-quali-conception® (marque déposée par l'USC Grappe (ESA-INRA)). Ce néologisme a été défini comme une démarche intégrant des objectifs environnementaux et qualité dès la conception d'un produit, service ou système.

Ce travail de thèse s'articule avec le projet de recherche ECO3VIC, coordonné par deux unités de recherche de l'ESA (USC Grappe et LARESS) et financé par l'ADEME (2017-2020). L'objectif principal du projet Eco3Vic est de fournir une démarche d'écoconception participative pour l'accompagnement au changement de pratiques en viticulture. Le projet s'appuiera également sur l'analyse des freins et leviers sociotechniques et économiques identifiés auprès des parties prenantes de la profession viticole (conseillers, viticulteurs, caves coopératives). Il s'attachera à apporter des

éléments de réponse à la fois à l'échelle des itinéraires techniques (parcelle) et à l'échelle de l'exploitation. Le projet prévoit la mise en place d'ateliers collectifs d'éco-conception d'itinéraires techniques dont certains sont partie intégrante du travail de thèse.

Suite à cette introduction, le contexte et les enjeux liés au sujet de la thèse sont détaillés. Ensuite, un premier article présente une analyse de la bibliographie sur l'éco-conception et la conception innovante de systèmes agricoles qui permettra d'identifier les opportunités et défis que soulève l'application de l'éco-conception aux systèmes agricoles. Le cadre méthodologique retenue pour ces travaux de thèse et le dispositif expérimental seront précisés à l'issue de cette analyse. L'ensemble du Chapitre 1 vise ainsi à poser la problématique de la thèse dont la question centrale est la suivante : **Quel type de démarche et quels outils permettent d'éco-concevoir collectivement des itinéraires techniques viticoles ?**

Le Chapitre 2 vise à identifier et résoudre les principaux verrous liés à l'utilisation de l'ACV dans une démarche participative avec des acteurs du changement en agriculture. Ce chapitre fait l'objet d'un article scientifique soumis dans International Journal of Life Cycle Assessment. Le Chapitre 3 présente la démarche d'éco-quali-conception® participative en viticulture mise en œuvre dans la thèse et analyse sa pertinence au regard des enjeux environnementaux de la viticulture. L'analyse portera également sur les apports potentiels de la démarche pour le changement de posture des participants. Cette partie fait également l'objet d'un article qui sera soumis à Agronomy for Sustainable Development. La façon dont le lien pratiques-qualité a été intégré à la démarche sera également présentée et discutée dans ce chapitre. Enfin, le Chapitre 4 permettra de discuter l'efficacité de la démarche proposée et d'identifier les perspectives de recherche que permettent ces travaux de thèse.

Contexte et enjeux

1. Les enjeux environnementaux de l'agriculture

La pression sociétale et réglementaire concernant l'impact environnemental des activités agricoles n'a cessé de s'accroître ces dernières décennies, particulièrement dans les pays les plus industrialisés. Les impacts environnementaux liés à l'industrialisation de l'agriculture sont en effet multiples. L'agriculture contribue à 11% des émissions mondiales de gaz à effet de serre. Elle a également d'autres impacts plus directs sur la faune et la flore liés notamment à l'utilisation d'intrants (toxicité des pesticides pour la faune et la flore terrestre et aquatique, contribution des engrais azotés à l'eutrophisation des cours d'eau,...). Enfin, elle peut également exercer une pression sur la disponibilité des ressources naturelles (ex : utilisation de l'eau pour l'irrigation) (ADEME 2018). En France et en Europe, la pression sociétale se traduit notamment par une demande croissante pour des produits alimentaires perçus comme plus respectueux de l'environnement (AgenceBio 2017; Alim'Agri 2017). A titre d'exemple, en Europe, le chiffre d'affaire des produits issus de l'agriculture biologique a été multiplié par 3 entre 2004 et 2016. Toutefois, cette dernière ne représentait pas plus de 10% de la consommation générale de produits alimentaires en 2016 (AgenceBio 2017). Au niveau réglementaire, suite au Grenelle de l'Environnement en 2007, trois objectifs principaux ont été définis : i) la diminution de 50% la consommation de produits phytosanitaires entre 2008 et 2018 (objectif revu en 2015 et désormais repoussé à 2025) ; ii) atteindre une proportion d'exploitations agricoles sous cahier des charges de l'agriculture biologique de 20% ; iii) limiter la dépendance énergétique des exploitations agricoles. Par ailleurs, la mise en place à l'échelle européenne de l'affichage environnemental des produits alimentaires basée sur des résultats d'ACV est à l'étude depuis plusieurs années (European Commission 2016, 2018).

2. Les enjeux du changement de pratiques en viticulture

Dans la filière viti-vinicole, le principal enjeu environnemental concerne la réduction des impacts des produits phytosanitaires. La filière viticole a en effet un des plus forts Indicateurs de Fréquence de Traitement (IFT) en France (13,2 en 2011, (Urruty et al. 2015)). La filière viticole contribue également à d'autres impacts environnementaux comme le changement climatique en raison de l'usage d'engrais azotés et de la mécanisation des opérations. Par ailleurs, la demande des consommateurs pour des produits respectueux de l'environnement se retrouve également dans la filière viti-vinicole. Les ventes de vins biologiques sont également en progression (+ 21% entre 2016 et 2017) (AgenceBio 2017).

En viticulture, la qualité est un critère très important dans la définition des objectifs de production. La qualité du raisin est essentielle pour produire un vin de qualité (Conde et al. 2007; Coulon 2012). De plus, les facteurs du milieu et l'itinéraire technique en sont les principaux déterminants (Bravdo 2001; Morlat 2010; Renaud-Gentié 2015). L'itinéraire technique se définit comme la succession logique des opérations mises en œuvre sur une parcelle en vue d'obtenir une production (Sebillotte 1974). En viticulture, l'itinéraire technique est défini dans le temps de l'après vendange de l'année n-1 à la vendange de l'année n. Les choix techniques des viticulteurs sont alors le fruit d'un compromis entre un objectif de rendement et de qualité du raisin, sachant qu'il existe une corrélation négative entre ces deux éléments (Coulon 2012; Guilpart 2014; Viret 2011).

Les changements de pratiques des viticulteurs peuvent aussi être influencés par des facteurs économiques, sociaux et techniques (Jourjon et al. 2016a; Jourjon et al. 2016b). En effet, l'adoption

de nouvelles pratiques est également raisonné par les viticulteurs en fonction d'une rentabilité souhaitée et d'un risque toléré (Guillaumin et al. 2012). La disponibilité de la main d'œuvre, le rapport direct à la clientèle et les demandes des marchés à propos de certains choix techniques peuvent également influencer les choix techniques (Guillaumin et al. 2012). Par ailleurs, les agriculteurs innover et expérimentent par eux-mêmes en mobilisant l'observation, l'échange d'information et de matériel avec leurs pairs et l'expérimentation (Goulet et al. 2008). Les dynamiques collectives sont ainsi des éléments clés des processus d'innovation et d'apprentissage des agriculteurs et de la robustesse des changements de pratiques (Chiffolleau 2005; Compagnone et al. 2008; Navarrete et al. 2011).

3. Un besoin de changer la façon de concevoir les systèmes agricoles

En réponse aux nouveaux enjeux auxquels l'agriculture fait face (notamment environnementaux), une reconception des systèmes agricoles apparaît nécessaire (Meynard et al. 2012). Différentes approches ont été proposées et peuvent être classées selon le degré d'innovation visé (Meynard et al. 2012), le degré de participation des agriculteurs (Le Gal et al. 2011) ou encore la façon dont les modèles informatiques peuvent être utilisés dans le processus (Martin et al. 2012).

D'après Meynard et al (2012), cette reconception doit permettre d'intégrer de nouveaux objectifs (environnementaux et sociaux notamment), de changer les concepts et connaissances à mobiliser et de revoir les méthodes d'évaluation et les critères auxquels devront répondre les nouveaux systèmes. Une participation accrue des agriculteurs à travers la mise en place de démarches participatives apparaît notamment souhaitable pour une meilleure articulation entre les connaissances scientifiques et les savoirs locaux (Meynard et al. 2012). Ainsi, aider les agriculteurs à évaluer leurs propres idées et à créer des connaissances peut permettre de faciliter l'adoption de solutions adaptées à leurs propres contextes (Mac Millan and Benton 2014).

En viticulture, peu de démarches de co-conception existent. (Lafond and Metral 2015) ont proposé une méthode de prototypage de systèmes viticoles à faible utilisation d'intrants phytosanitaires. Ces prototypes sont définis par une stratégie globale et des tactiques de gestion documentées par des règles de décision afin d'être testés sur des sites expérimentaux. Le processus de co-conception implique différents experts (recherche, développement et instituts techniques principalement). A contrario, le projet Repère-3SCED (Lallemand 2014; Masson 2014) est un projet de recherche construit en partenariat avec un collectif de vignerons pour la mise en place de solutions pour la gestion du sol. La démarche du projet vise ainsi à préserver et valoriser les savoirs des vignerons acquis et en construction.

En conception de systèmes agricoles, la conception « de novo » vise à concevoir des prototypes de systèmes agricoles très innovants. La plupart de ces approches sont basées sur la modélisation qui permet de prédire les impacts (principalement agronomiques, économiques) de multiples combinaisons de techniques (Meynard et al. 2012). Des approches plus récentes ont cherché à prototyper sans modèles et en s'appuyant plutôt sur la diversité des connaissances d'un certain nombre de participants (Le Gal et al. 2011; Reau et al. 2012). La conception « pas à pas » vise quant à elle à organiser une transition progressive vers des systèmes innovants (Meynard et al. 2012). Elle commence souvent par un diagnostic initial qui permet d'identifier des solutions à prioriser et puis d'engager un processus d'amélioration continue. Enfin, conception « de novo » et « pas à pas » peuvent être complémentaires puisque la conception « de novo » peut produire des systèmes très innovants pouvant inspirer la conception « pas à pas » (Meynard et al. 2012).

Différents modes de participation sont possibles dans le cadre des recherches participatives (Table 1). Dans une revue de 41 démarches de conception de systèmes agricoles utilisant des modèles informatiques, Martin et al (2012) distingue deux types d'innovations (« exploitative innovations » et « exploratory innovations ») qui peuvent être définies comme étant respectivement le résultat d'un processus de conception pas à pas et de novo. En effet, les « exploitative innovations » sont basées sur les connaissances disponibles tandis que les « exploratory innovations » ont été produites à partir des connaissances créées durant le processus de conception. Les auteurs ont identifié que seulement 3 des 41 approches étudiées ont développé des « exploratory innovations » tout en précisant que ces trois approches se sont appuyées sur un haut niveau de participation. Ils ont également identifié que la plupart des approches étudiées étaient orientées vers le développement d'« exploitative innovations » plutôt que d'« exploratory innovations ». Enfin, ils soulignent le besoin de développer les « exploratory innovations » pour mieux répondre aux enjeux d'un monde changeant et appellent à plus d'approches participatives.

Table 1 : Definition of the different participation modes in farming system design (Martin et al., 2012)

Participation mode	Definition
Nul	No participation of stakeholders
Contractual	Researchers lead the design process, stakeholders are « contracted » to provide services and support
Consultative	Researchers lead the design process but consult and gather information from stakeholders, in particular to integrate their constraints and opportunities and/or priorities
Collaborative	Researchers lead the design process but collaborate actively with stakeholders by sharing knowledge throughout this process
Collegiate	Researchers and stakeholders work together as colleagues with decisions made by agreement or consensus.

4. L'éco-conception pour réduire les impacts environnementaux des produits

L'éco-conception consiste à intégrer des aspects environnementaux dans le processus de développement d'un produit avec l'objectif de réduire les impacts environnementaux négatifs tout au long de son cycle de vie (ISO 2002). Ce type de démarche a été principalement appliquée dans les entreprises de produits manufacturés et très peu sur des produits agricoles. Il ne s'agit pas d'une méthode ou d'un outil de conception à proprement parler mais plutôt d'une façon de penser et de mener le processus de conception. Il existe en effet à peu près autant de méthodes et d'outils d'éco-conception, qu'il y a de produits industriels (Knight and Jenkins 2009; Rousseaux et al. 2017). L'ACV apparaît comme l'outil le plus pertinent pour informer les démarches d'éco-conception (Lewandowska and Matuszak-Flejszman 2014). Elle permet en effet de quantifier les potentiels impacts environnementaux d'un produit ou d'une activité à l'échelle de son cycle de vie (ISO 2006b). Néanmoins, sa complexité freine son utilisation dans des démarches d'éco-conception (Knight and Jenkins 2009).

Les démarches d'éco-conception sont caractérisées par l'intégration le plus tôt possible des enjeux environnementaux dans le processus de développement du produit et par la mise en place d'un processus d'amélioration continue. Ce dernier peut se définir par plusieurs niveaux d'éco-conception successifs dans le temps correspondant à différents niveaux de rupture par rapport au système de production initial (Figure 1).

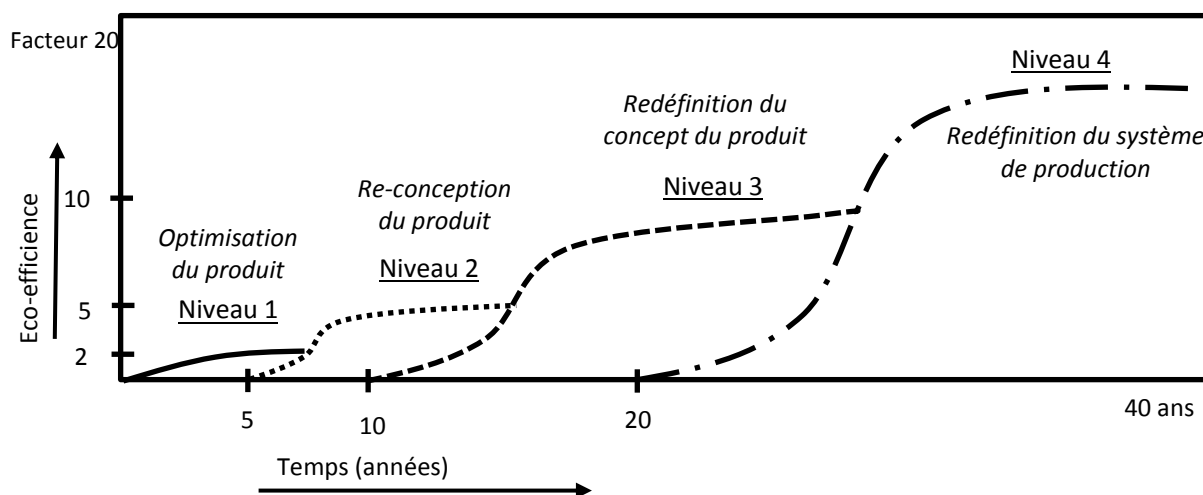


Figure 1 : Les 4 niveaux d'éco-conception (adapté de (Ferrendier et al. 2002)).

N.B : L'éco-efficacité est définie dans les travaux de l'époque par le facteur X. Un facteur 10 correspond par exemple à une division par 10 de la consommation de ressources pour un service donné et en comparaison à une référence initiale. Cette notion était utilisée à partir des années 90 (et principalement en Europe) dans les discussions politiques sur la définition d'objectifs de durabilité (Reijnders 1998).

5. L'importance de la phase agricole dans les résultats d'ACV des produits alimentaires

Les applications de l'ACV dans l'industrie agro-alimentaire sont nombreuses et ont montré la contribution importante de la phase agricole aux impacts environnementaux du cycle de vie des produits alimentaires (Bessou et al. 2013; Roy et al. 2009). Concernant la filière viticole, plusieurs études ont cherché à évaluer les impacts environnementaux d'une bouteille de vin en Espagne (Gazulla et al. 2010; Vázquez-Rowe et al. 2012), au Canada (Point et al. 2012), au Portugal (Neto et al. 2012), en Italie (Benedetto 2013; Fusi et al. 2014) et en France (Penavayre et al. 2016). Ces études ont montré l'importante contribution de la phase de production du raisin et sa forte variabilité selon les études et les catégories d'impact (Table 2). L'utilisation de l'ACV pour accompagner les agriculteurs ou viticulteurs dans la réduction des impacts environnementaux de leurs pratiques agricoles reste cependant très peu étudiée. (Kulak et al. 2016) ont utilisé l'ACV pour améliorer les performances environnementales d'une chaîne d'approvisionnement de pain et ont montré que les solutions proposées par un groupe d'experts ne sont pas perçues comme adoptables par les agriculteurs.

Table 2 : Comparaison des contributions des différentes phases du cycle de vie d'une bouteille de vin à son impact environnemental total pour les catégories d'impact « Changement climatique » et « Eutrophisation » et comparaison des périmètres d'étude (cases grisées) pour 6 références bibliographiques.

		Vazquez-Rowe et al., 2012	Benedetto et al., 2013	Neto et al., 2012	Gazulla et al., 2010	Point et al., 2012	Penavayre et al., 2016
Plantation de la vigne	Changement climatique	1 à 11 %	30 %				
	Eutrophisation	NA	52 %				
Production viticole	Changement climatique	13 à 47 %	13%	69%	46%	25%	17%
	Eutrophisation	NA	14 %	90%	98%	77%	61%
Vinification	Changement climatique	14 à 43 %	≈ 0 %	8 %	10 %	12 %	5 %
	Eutrophisation	NA	≈ 0 %	4 %	0 %	4 %	1 %
Embouteillage/ Emballage	Changement climatique	31 à 66 %	57 %	15 %	29 %	14 %	38 %
	Eutrophisation	NA	34 %	4 %	1 %	6 %	18 %
Transport	Changement climatique			8 %	15 %	11 %	40 %
	Eutrophisation			2 %	1 %	5 %	20 %
Recyclage des bouteilles	Changement climatique					1 %	- 9 %
	Eutrophisation					≈ 0 %	- 2 %
Trajet du consommateur	Changement climatique					37 %	
	Eutrophisation					8 %	

Ecodesign of innovative agricultural production systems: a review of opportunities and challenges.

Aurélie Perrin¹, Anthony Rouault¹, Christel Renaud-Gentié¹, Marguerite Renouf^{1,3}, Frédérique Jourjon¹, Jean-Marc Meynard²

¹USC GRAPPE, Univ Bretagne Loire, Ecole Supérieure d'Agricultures (ESA), INRA, Angers, France

²UMR SADAPT, INRA, AgroParisTech, Université Paris-Saclay, 78850 Thiverval-Grignon, France

³Queensland University

Abstract

The agricultural sector is facing a complex challenge: feeding a growing population while reducing its impact on the environment. Tackling the challenge of a deep transformation of agricultural systems needs the development of innovative methods to design agricultural systems and their interactions within agri-food chains. Inspired by the development of ecodesign in industries we propose leads to support the development of ecodesign in agriculture, based on the hybridization of agricultural system design approaches and LCA practices for agricultural products. By addressing new criteria and enlarging the scope, using LCA can contribute to innovation in design processes of agricultural systems. Participatory ecodesign aims to integrate scientific and local knowledge in order to produce new knowledge that can support individual and collective practice change in agriculture. According to the object to be designed the composition of the group and its minimum commitment level vary. The implementation of ecodesign to the agricultural production sector renews scientific challenges for LCA and more broadly for multicriteria assessment. Among greater challenges, the large need for data and the pre-defined set of indicators limit the level of innovativeness in design processes. We identify main leads for methodological development of ecodesign tools and methods as well as a potential field for application of ecodesign for the future.

Keyword

Life-Cycle assessment; design process; multicriteria assessment; farming system; participatory approach

1. Introduction: Opportunities for applying ecodesign to the agricultural sector

The agricultural sector is facing a complex challenge: feeding a growing population while reducing its impact on the environment. Despite that global cereal production has doubled in the past 40 years (Tilman et al. 2002), 805 million people still suffer from chronic hunger (FAO 2015). Meanwhile, the environmental burdens of modern agriculture affect all ecosystems compartments and occur at various scales. Agriculture accounts for 10 to 30% of global anthropogenic greenhouse gases (GHG) emissions responsible for climate change (Wreford et al. 2010). The transfer of pesticides to the atmosphere leads to air quality issues at global and local scales with a seasonal pattern and large spatial variability (Bedos et al. 2002). Agricultural non-point source pollution of surface and ground water by nutrients and pesticides has been identified as a major problem since the 1960s (Logan 1993). Agricultural activities also contribute to soil erosion and soil contamination by heavy metals (MEA 2005; Tóth et al. 2016) and pesticides (Cabidoche et al. 2009). Although biodiversity loss has occurred across all terrestrial ecosystems, many of its drivers are associated with intensification of agriculture (Butler et al. 2007). Last but not least, human toxic exposure induced by pesticide residues from food consumption is assumed to be about 103 to 105 times higher than that induced by drinking water or inhalation (Juraske et al. 2009). To address these environmental issues, a diversity of design approaches were developed by agronomists (Meynard et al. 2012) and resulted in the implementation of novel cropping system, based in particular on agroecology principles - diversity, efficiency, recycling, regulation (Altieri 1989). While ecodesign approaches are emerging in the industrial sector during the two last decades, very few implementations have been observed in the agricultural sector.

Ecodesign is one of the most common approaches adopted by companies to include environmental considerations into the design of products . It can be defined as the integration of environmental aspects in product design with the aim of reducing adverse environmental impacts through the product life's cycle (European Commission 2005). Ecodesign was inducted by two main trends : the inclusion of environmental consideration into design introduced by Victor Papanek (Papanek and Fuller 1972) and the rise of life-cycle assessment (LCA) in the industrial sector, which benefited with a full set of regulation (the ISO 14040 series). Two major factors contributed to the spreading of ecodesign, predominantly in the industrial sector. First, the growing environmental awareness which emerged after the United Nations conference on the Human Environment (Stockholm, 1972) led to a dramatic increase of the volume of environmental laws. Second, ecodesign addressed criticism of the "end-of-pipe" approach (Erkman 2004) which was limited to the removing of emitted pollutants at the last stage of a process. Thus new environmental management approaches such as ecodesign allowed a transition toward more preventive approaches (Lee and Rhee 2005). Today European regulation such as the Integrated Product Policy (IPP) encourages the implementation of ecodesign approach in order to achieve a broad reduction of all environmental impacts along a product's life cycle. Following up, ISO 14006:2011 (ISO 2011) provides guidelines to assist organizations in establishing, documenting, implementing, maintaining and continually improving their management of ecodesign. It has also been introduced in the last revision of the ISO 14001:2015 (ISO 2015) as a normative element of Environmental Management Systems. Among tools dedicated to ecodesign, LCA is the most recommended method to inform ecodesign.

Life cycle assessment (LCA) was successfully applied to agri-food systems highlighting the large contribution of the agricultural stage to the environmental impact of food and drinks (Bessou et al. 2013; Neto et al. 2012; Roy et al. 2009). It also evidences the possible path for impact reduction associated with agricultural management (Basset-Mens and van der Werf 2005; Rouault et al. 2016; Villanueva-Rey et al. 2014), and supply chain logistics (Perrin et al. 2017; Point et al. 2012; Rugani et al. 2013). Under the umbrella of eco-efficiency, LCA has been used to screen promising development pathways or systems with regard to their environmental impact (Nemecek et al. 2015; Renouf et al. 2017). LCA results also underlined the complexity of agricultural systems leading to an understanding of variability, uncertainty and trade-off limiting the relevance of results for informing decision-making (Meier et al. 2015; Notarnicola et al. 2017). By including the full life-cycle of a product, LCA appears as a relevant method to address environmental challenges related to the agri-food sector, i.e. to design not only technical agricultural systems but also interactions within larger agri-food chains within the context of ecological transition (Lamine 2011; Meynard et al. 2017). To date, there were only a few attempts in apply LCA to the design of agricultural system . Among them Kulak et al. (2016) showed how LCA results were used in workshops with multi-disciplinary experts to design environmentally-friendly bread production scenarios. It showed that LCA as a systematic tool built on scientific knowledge can bring useful environmental knowledge for the design of alternative agri-food systems. In this study two limits were identified: 1) lack of knowledge on the local conditions of studied farms from experts involved in the design of the prototypes, which led to the identification of numerous solutions considered as "not adoptable" by the farmers; 2) the importance of preconceived ideas and of the lack of confidence of the farmers in the knowledge of the experts, which led to a limited adoption of prototypes suggested by experts. In a general way Kulak et al. (2016) concluded on the necessity of dialogue between experts and final users to improve the efficiency of ecodesign.

There is a clear need for environmentally- and health-friendly food production systems. Ecodesign met the need to include of environmental consideration into industrial product chains. However, ecodesign in agriculture is not yet a trend, even if the relevance of LCA (Life Cycle Assessment) has been validated for a large number of products . To our knowledge no prior work has yet addressed the weak development of ecodesign in the agricultural sector and the challenges to be overtaken for its implementation. In this paper, based on the current 'state-of-art' for eco-design in agriculture, we propose leads to support the development of ecodesign in agriculture as the hybridization of agricultural system design approaches and LCA practices for agricultural products. First, lessons learnt from eco-design applications in industries will be raised. Second, main benefits and limits of current agricultural system design approaches will be described. From this cross-analysis we will draw recommendations for eco-designing agricultural production systems.

2. Learning from ecodesign applications outside of the agricultural sector

2.1. Definition of ecodesign

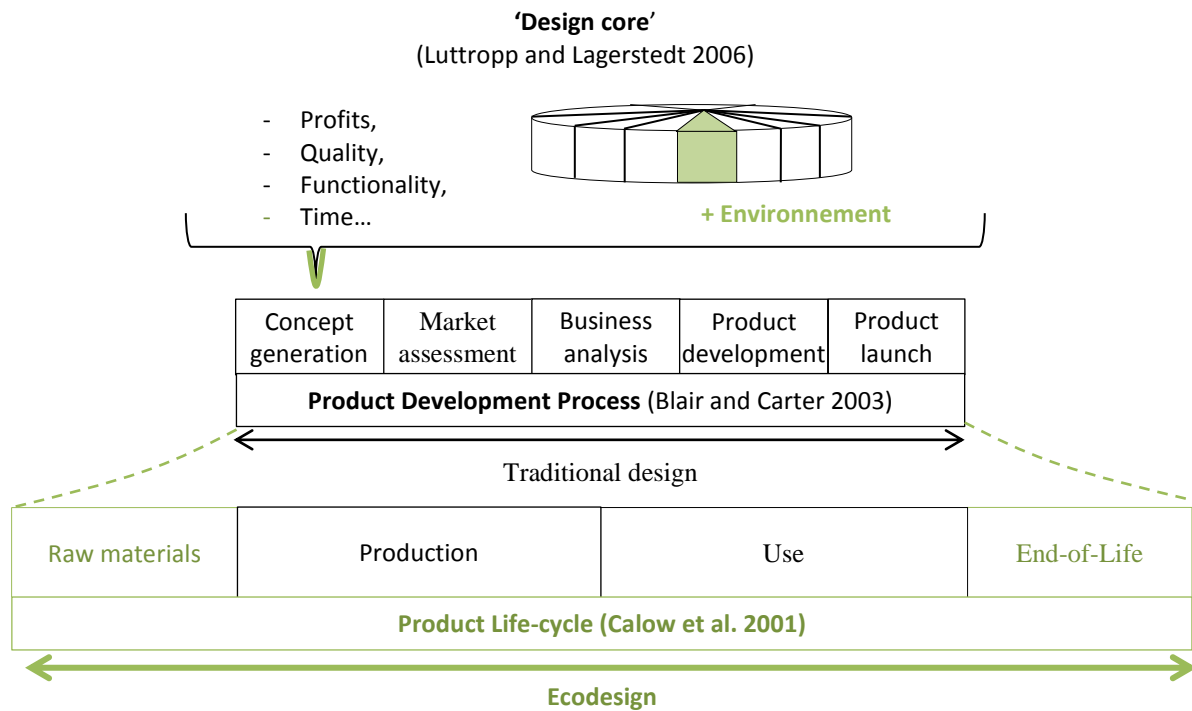


Figure 2 : Conceptual framework for industrial design (in black color) and variations related to ecodesign specificities (specificities are indicated in green)

Most generally, industrial design overlaps with the Product Development Process (PDP, Blair and Carter, 2003) which typically consists of several activities aiming at delivering new products to the market. Through PDP, operators of the production stage aim at achieving a balance of all elements of the design core, such as product's functions, its quality, economic aspects or business timings (Figure 2). Ecodesign consists in incorporating environment besides other traditional design considerations as early as possible in the Product Development Process and through Product Life-cycle (Calow et al., 2001). It may result in the company gaining new knowledge about its products through the creation of multi-disciplinary project teams connecting supply chain constraints and opportunities (Lewandowska and Matuszak-Flejszman, 2014).

2.2. The wealth of ecodesign tools for industries

Despite life cycle assessment (LCA) being the main method identified for informing eco-design and still the most recommended one (Lewandowska and Matuszak-Flejszman, 2014), there are a large range of other tools that are used in practice by industries to perform ecodesign. For Baumann et al. (2002), "any systematic means for dealing with environmental issue during the product development process" can be called an ecodesign tool. A simplistic, yet still useful way of categorizing eco-design tools into three main types, has been proposed by Knight and Jenkins (2009): guidelines, checklists and analytical tools. We analyzed pros and cons of each of them in Table 3.

Table 3 : Pros and cons related to each ecodesign tool type used in industries

Ecodesign tool type & main functionality	Pros	Cons	Examples
Guidelines define a framework for application and provide with general recommendations	<ul style="list-style-type: none"> · Applicable across the whole PDP and lifecycle · Generic to many sectors 	<ul style="list-style-type: none"> · Lack of concrete actions 	Guidelines for Incorporating Ecodesign (ISO 2011)
Checklists identify priority issues and actions to be undertaken	<ul style="list-style-type: none"> · Fast adoption in multidisciplinary team 	<ul style="list-style-type: none"> · Need to be customized to be useful 	The 10 Golden Rules (Luttropp and Lagerstedt 2006)
Analytical tools provide with a diagnosis and suitable solutions eventually	<ul style="list-style-type: none"> · Detailed and systematic analysis · May include other criteria 	<ul style="list-style-type: none"> · Cannot be used in early stage of PDP · Its use requires a minimum training 	LCA-based tools (ISO 2006a)

Guidelines are applicable either on the whole product development process (PDP) and life-cycle (e.g. ISO 14062) or covering a significant area (e.g. Design for recycling) while checklists often address narrower issues. Both methods are used for quick evaluation and can be particularly useful in the early stage of the PDP as they require less details than analytical tools (Rossi et al. 2016). Checklists' simplicity may allow a good engagement of the project team beyond environmental experts, however its customization to company-specific strategy may require expertise as shown by Luttropp and Lagerstedt (2006) for the ten Golden Rules. Analytical tools provide a detailed and/or systematic analysis, are usually quantitative and may also address other dimension to be included in the PDP (e.g. cost, quality, market). Users are often engineers with environmental knowledge who seek for more rigor and a higher level of precision in the results (Baumann et al. 2002). However such complex tools (e.g. LCA) are less user-friendly and their usage may not fit with the time-constraints of PDP (Knight and Jenkins, 2009).

The diversity of tools caters for the different situations and objectives for which tools are to be used (accuracy of expected results and deadline), the complexity of the product process, and the users' qualifications. The need for specific knowledge, the time-consuming effort and the over-formalization of some tools influence not only the activity of using the tool but also the result's interpretation phase (Rossi et al., 2016) and consequently the utility of the results in the ecodesign process. The resulting high number of tools has in itself become a barrier for implementing ecodesign due to the difficulty to select the most suitable one. A recent study has even presented a tool to select a suitable tool from among 629 cited and/or described in the literature (Rousseaux et al., 2017). Meanwhile, available tools still lack of life-cycle perspective (Boks 2006) and good integration within PDP (Dekoninck et al. 2016; Knight and Jenkins 2009; Tukker et al. 2001). According to Luttropp and Lagerstedt (2006) it is still unclear if these tools are being used and if they have any real effect on product system development. They suggest that tools development starts with brainstorming within multi-disciplinary teams to answer questions such as 'who are the potential users of the information?', 'what type of information should be produced?' or 'how the information will be used?' In the light of Design Sciences, we wonder if such tools mainly based on systematic approaches may limit the scope of ecodesign to rule-based design only. Through innovative design, the identity of the designed object may be revisited in order to reach breakthrough innovations (Le Masson et al. 2006), making process-based tools, even the most complex, useless to address the

novel object. Thus ecodesign may benefit from enlarging the scope of methods and tools in order to allow innovative design and thus address greater environmental challenges such as ecological transition in the agricultural sector.

2.3. Hindrances to implementing eco-design for environmental management in companies

Despite the increasing volume of regulation, documentation and tools dedicated to ecodesign, academics observe a slow rate of implementation in industries (Dekoninck et al. 2016). Such this slow progress contrasts with the sufficient body of knowledge and a mature set of good practices, management principles and tools (Boks and McAloone 2009; Pigosso et al. 2013). It seems that among the challenges identified a decade ago, some are still ahead of us and new ones have appeared (Dekoninck et al. 2016). Table 4 provides a broad overview of recommendations drawn from the recent literature on ecodesign implementation's success factors and obstacles. Among newly raised barriers to ecodesign implementation, a set of socio-psychological issues were identified such as fear of work overload, fear to lose creativity and flexibility, and uncertainties related to long-term strategies and regulations that leads to strong resistances even inside project teams (Stewart et al. 2016). A first set of recurrent strategic recommendations aim to tackle these socio-psychological issues. Johansson (2002) advocated the need for a changing mindset for the entire corporation by including environmental concerns in long-term planning. Such a strategic position should be supported internally by senior managers (Boks 2006; Dekoninck et al. 2016; Johansson 2002; Pujari et al. 2003; Stewart et al. 2016) and externally by public statements toward suppliers and consumers (Boks 2006). Acceptance of environmental concerns is a major issue as environment carry strong emotional connections beyond the sphere of industry (Boks 2006). It is often closely linked to the level of knowledge on environment of employees (Luttrupp and Lagerstedt 2006; Knight and Jenkins 2009; Dekoninck et al. 2016), suppliers and customers (Boks 2006). Finally, issues related to skills to be mobilized and their inter-relations were less explored. Internal interactions mainly hinges on managers ability to bring together people from diverse disciplines and to ensure efficient information exchanges (Stewart et al. 2016) based on a shared lexicon (Knight and Jenkins 2009; Dekoninck et al. 2016). For external interactions, no practical recommendation can be drawn beyond that new types of interactions are needed for supply-chain stakeholders (Dekoninck et al. 2016). Policies and regulation may have a role to play in organizing intra-sector communication and collaboration around common environmental concerns.

Table 4 : Recommendations for facilitating the implementation of ecodesign in industries based on the recent literature

1. Tukker et al. (2001); 2. Johansson (2002); 3.Pujari et al. (2003); 4.Boks (2006); 5.Luttropp and Lagerstedt (2006); 6.Knight and Jenkins (2009); 7.Stewart et al. (2016); 8.Dekoninck et al. (2016)

	Internal aspects	External aspects with hold from companies
Strategic and management recommendations	<ul style="list-style-type: none"> - Changing mindset, with environment as a priority in the long-term strategy ^{2,7} - Reducing the gap between operational and strategic levels / Ensuring management commitment and support ^{2,3,4,7,8} - Tackling environmental issue affecting all business activities and on which staff is prepared to take responsibility ^{4,6,7} - Adapting performance measurements and incentives system / Ensuring human and financial resources ⁷ 	<ul style="list-style-type: none"> - Communicating clear vision and goals of corporates towards the supply-chain ⁴ - Ensuring demand from the market and willingness to pay ^{4,7}
Leads for increasing acceptance of environmental concerns	<ul style="list-style-type: none"> - Training staff for ED and tools ⁵ - Increasing environmental expertise ⁶ - Getting rid of preconceived ideas to lower remaining resistances ⁸ 	<ul style="list-style-type: none"> - Training customers to environmental issues ² - Developing expertise on materials& components environmental impact ²
Skills to be mobilized and inter-relations	<ul style="list-style-type: none"> - Building cross functional teams ² - Hiring an environmental champion ² - Improving information flows ⁷ - Developing a common lexicon ^{6,8} 	<ul style="list-style-type: none"> - Identifying suitable stakeholders from the value chain to be included ⁸ - Changing the type of interaction from transaction to collaboration ⁸

3. Current practices for innovative design of agricultural systems

3.1. De novo' design versus step-by-step design

Designing agricultural systems refers to the activity of defining systems attributes with regards to their agronomic, economic, organizational or environmental aspects, which can occur at different scales from field to supply chain (Le Gal et al. 2011; Martin et al. 2012). This activity is undertaken by farmers but also by or with agronomists from extension services or researchers (Meynard et al. 2012).

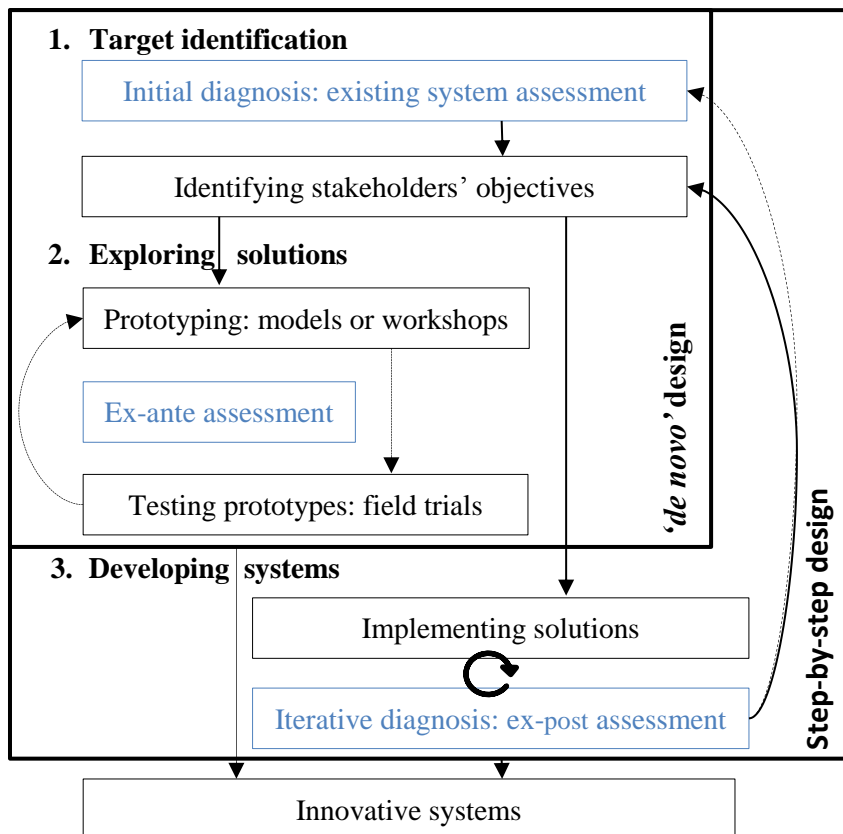


Figure 3 : 'De novo' design versus step-by-step design. Dotted arrows indicate secondary paths. Nature and position of assessment steps are indicated in blue.

Traditionally, agricultural researchers have been outsiders in the farming community, producing knowledge and technology without or with only little interaction with farmers (Salembier et al. 2018). As top-down dissemination of new technologies by extension advisors have faced resistance, design processes including farmers were developed from the 2000's to support on-farm design of innovative systems (Salembier et al. 2018; Vereijken 1997). According to Meynard et al (2012), innovative design of agricultural systems can be distinguished into two major sets of approaches: the 'de novo' design and step-by-step design (Figure 3). 'De novo' design aims at identifying efficient systems according to involved stakeholders regardless how to move from the existing system to the innovative systems. This design approach favored disruptive inventions over achievable targets. Prototyping workshops (Bos and Koerkamp 2009; Vereijken 1997) offer good conditions for 'de novo' design by promoting the diversity of knowledge related to various stakeholders (farmers, researchers, advisors, agro-industrial firms, consumers) and their complementarity. Agronomic models provide another efficient mean for exploring solutions within the 'de novo' design. With models one can investigate a large range of combinations of techniques, beyond what the best

experts may know. In addition, models can inform the designer on long term behavior of the systems (Bergez et al. 2010; Rossing et al. 1997), beyond the limits of field trials.

By contrast, step-by-step design aims at organizing transition. An existing system is changed stepwise, based on learning loops in order to reach an innovative system which was not known yet (Coquil et al. 2009; Meynard 2008). The design approach starts with an initial diagnosis: how satisfying is the current system? By pinpointing hotspots and involved processes, diagnosis allows identifying which aspects of the system should be improved and potential changes of practices or organization. Once this changes being implemented, a new diagnosis can be performed to check if the system has been improved and to identify news challenges: this is an iterative process. Compared to de novo design, the precautionary investigation within step-by-step approach allows a smooth adaptation to specific constraints of each agricultural situation. The step-by-step design is well suited for gradual involvement of farmers in an approach of progress. The farmer, often supported by a technical advisor or a group of peers, can perfect his new systems year after year, while he learns how to manage it, gets convinced about its assets and redesign its workforce and production factors (Mischler et al. 2009).

3.2. The role of assessment into innovative design

System assessment is always an important step within all design approaches but it may occur at different stages (Figure 3). In ‘step-by-step’ design, assessment is the core of the process as it corresponds to the basis of the learning loop. During a given design process, assessment criteria may change as the implementation of solutions may lead farmers to realize that some important criteria to them were not included in the initial set of indicators . The dynamics of the set of indicators is a key element of innovative design processes. In ‘de novo’ design based on modeling, assessment can be fully integrated in the prototyping step if the model encompasses pre-defined optimization rules to reduce the number of simulation (Bergez et al. 2010). To better include stakeholder’s criteria, a model co-design step with stakeholders can be integrated in the process (Cabrera et al. 2005). Most of the time, the assessment is limited to the screening of systems at the end of the prototyping process (Brown et al. 2005; Reau et al. 2012; Rossing et al. 1997; Schils et al. 2007; Vayssières et al. 2009a; Vayssières et al. 2009b), but it often leads to a new round of prototyping .

Table 5 : Main characteristics of assessment methods used in design process

Characteristics of assessment methods	Modalities
Objectives	Stakeholder’s objectives / multi-dimensional sustainability assessment
Criteria	Single / multi-criteria / aggregated indicators
Indicators	Quantitative / qualitative; Practice / environnemental exchange / impact
Assessment scope	Field / farms / landscape / value chain

Table 5 provides an overview of important characteristics for assessment methods used within design process. In most of design approaches, assessment criteria are defined in early stages based on stakeholder’s objectives. As a result, the design of agricultural production systems often firstly addresses economic and/or agronomic objectives (Le Gal et al. 2011; Martin et al. 2012). Environmental objectives are secondary as environmental considerations do not always lead to a consensus. Among environmental criteria, the most common were pesticides pollutions, greenhouse gases emissions, soil erosion, biodiversity or nitrogen losses as they can be easily related to environmental issues widely known by the public opinion. Environmental considerations often focus

on a single criterion of importance for the sector such as nitrogen emissions for the dairy sector (Berentsen and Giesen 1995; Brown et al. 2005; Cabrera et al. 2005; Groot et al. 2003; Vayssières et al. 2009a; Vayssières et al. 2009b) or pesticide for fruit and vegetable sector (Lafond and Metral 2015; Rossing et al. 1997). The use of pre-existing sustainability assessment methods often leads to an enlargement of dimensions addressed in design process. However such a package may not contain essential indicators for stakeholders or decision makers, leading to unsuitable system selection (Salembier et al. 2016). When multi-criteria assessment is performed, it can utilize a list of quantitative or qualitative indicators; displayed independently or in an aggregated way (Craheix et al. 2012; Reau et al. 2012). Aggregation method should be transparent and objective (Botreau et al. 2018), which can turn out to be complicated if stakeholders have different criteria in mind (Meynard et al. 2017). Most quantitative indicators relate to practices (treatment frequency index, nitrogen balance) or particular environmental exchanges (nitrate leaching, soil run-off...). Such indicators seem easier to handle by stakeholders thanks to the direct link between these exchanges and their causing practices. However these indicators do not inform accurately on the potential impact of these exchanges on the environment (Bockstaller et al. 2008). Indicators referring to environmental impacts such as climate change due to energy consumption or biodiversity losses are less common but more informative. Finally, most of criteria used in design process assess the studied system at field, farm or landscape scale depending on the scope of the process. Only a few approaches involved indicators covering upstream or downstream stages (Loyce et al. 2002) pinpointing the risk of degrading the performance of the whole value chain.

3.3. The benefits of co-design to support transition toward innovative systems

The participation mode influences the result of the participatory process as well as the adoption of the designed object by final users. A diversity of participation modes can be found in agricultural systems design approaches (Barreteau et al. 2010; Martin et al. 2012) from no participation of stakeholders to collegiate participation where researchers and stakeholders work together as colleagues with decisions made by agreement or consensus among all the players. Modalities of participation are thus depending on the way the design process is organized and may change during the design process itself : As show in previous sections, stakeholders can be involved in the initial diagnosis in order to identify objectives of the design process and contributes to the selection of assessment criteria; operators, change leaders or experts may be involved in prototyping workshop; finally operators are generally involved in the system development step. In the perspective of agroecological transition, participatory approaches that include farmers and/or extension services can be considered more powerful than non-participatory approaches for three reasons (Altieri 2004; Cerf et al. 2012): i) they value local knowledge, as scientific knowledge is often not sufficient for local adaptation of agricultural systems; ii) they can rely on users' criteria and not only those coming from researchers; iii) because of the two previous points, adoption of innovations is driven easier.

4. Challenges for 'Eco designing' agricultural production systems

4.1. Potential input from LCA to agricultural system design approach

LCA is a quantitative and multi-criteria method for environmental assessment of product and services (ISO 2006a). All stages of the life-cycle of product and services are assessed based on a holistic framework which aims to cover most of impacts on environment. Unlike any combination of indicators, such holistic approach is made through the identification of all pathways between environmental fluxes (resources consumption and pollutant emissions) and damages on the three areas of protection: human health, ecosystem and resources (Heijungs et al. 2003). Consequently LCA can be used (i) to identify hot-spots within the life-cycle of products and services and (ii) to assess the effect of an alternative technology/process on product environmental performances over its full life-cycle, while avoiding impact transfer from one stage to another or from one impact to another (Castellani et al. 2017; Hellweg and Milà i Canals 2014). LCA aims at quantitatively model relationships between anthropogenically-induced fluxes and the environmental burdens, which are derived from scientific consensus. Thus, LCA provides quantitative information with high scientific soundness related to the consequences of human activities on the environment. Each impact is expressed for a functional unit, defining qualitatively and quantitatively the function provided by the product or service (e.g. 1 kg of wheat at bread-quality, and 15% moisture or 1 recommended daily intake of proteins). Consequently, it can be used to inform the environmental performances of complex systems (Alaphilippe et al. 2013; Meier et al. 2015) and to compare very different systems having a common function, such as providing proteins with meat-based or vegetarian food (Heller et al. 2013). Another option is expressing agricultural activities using a surface unit (e.g. 1 hectare) to enlarge the basis for comparison (van der Werf et al. 2014) and take distance from the product to enhance innovation. Finally, by addressing new criteria and enlarging the scope, using LCA can contribute to more innovation in the design processes of agricultural systems.

4.2. The need for a participatory approach of ecodesign

In order to increase the adoption of the innovative agricultural systems through motivation and autonomous choice and to design while leaning on field actors' expertise, a participatory ecodesign approach appears preferable. Such an approach aims to integrate scientific and local knowledge in the design process and to inform advisors and policy makers on opportunities and barriers to the change of practices. Participatory ecodesign may involve groups of farmers, advisors and various stakeholders in a reflexive journey with the following objectives:

- a) to support participants to share their view on environmental best practices in order to increase the acceptance of environmental concerns and identify potential environmental champions in the group,
- b) to increase the level of knowledge about how production practices influence environmental processes, in order to reduce the influence of preconceive ideas and facilitate the identification of environmentally-friendly alternatives,
- c) to collectively design environmentally-friendly systems that can be partly or totally applied in shorter or longer term by one or more operators or inspire the other participants for their own change of practices.

The objective (b) implies the use of an environmental assessment tool to establish links between production process and environmental impact. LCA has not been used a lot in participatory ways, but

it was shown that such a use can benefit to the quality of the LCA (De Luca et al. 2017). Indeed, participants can provide knowledge to improve the system description, to better define the objectives of the assessment and also to enlarge the social dimension.

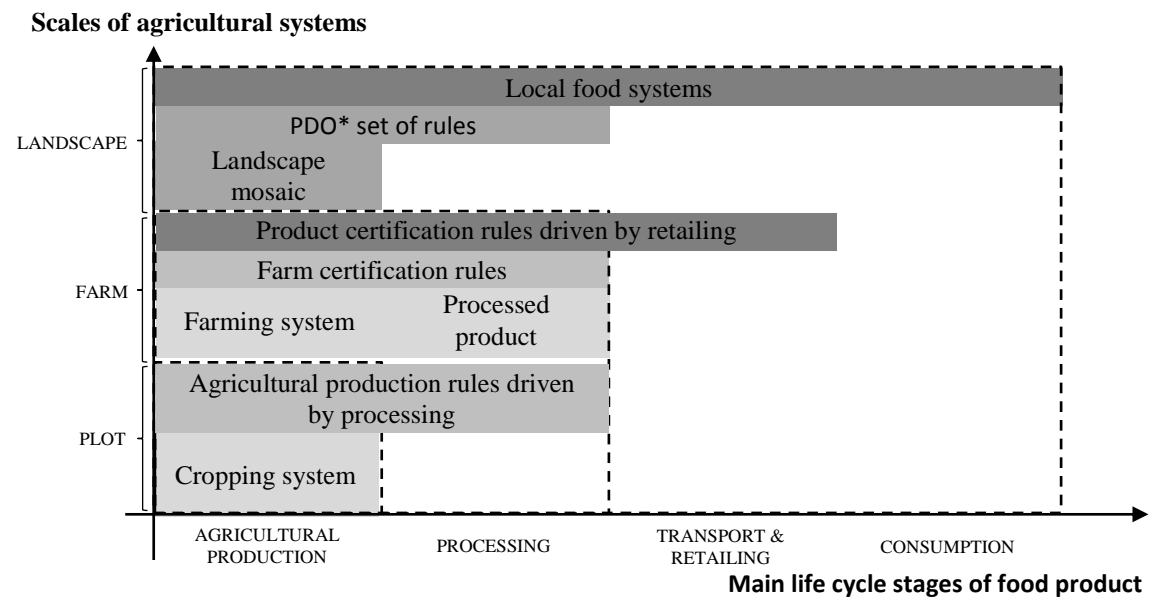


Figure 4 : The diversity of object to be designed by or with agricultural production stakeholders. Light grey indicates low collective commitment required from stakeholders; dark grey indicates high collective commitment from stakeholders * PDO stands for Protected Designation of Origin.

Participatory LCA-based ecodesign allows designing a diversity of objects from cropping system to food product involving plot, farms or landscape scales (Figure 4). According to the object to be designed, the composition of the group and its minimum commitment level vary. Designing cropping or farming system can be achieved with a group of independent farmers. Additional knowledge can be brought into the process by technical advisors and agronomists. Ecodesign of a processed product can be performed by up-stream stakeholders (processing, logistic, and marketing) within a given agri-food company. However, in line with 'open innovation' trends (Chesbrough and Bogers 2014), extra care should be taken to invite an expert of the agricultural production stage into the interdisciplinary team involve in the ecodesign process, to ensure the sustainability of quality requirements defined for agricultural products (Meynard et al. 2017). Ecodesign of product certification (e.g. organic product) or farm certification (e.g. high environmental value certification as implemented by the French Agricultural Ministry) can be a prerequisite to access the market (imposed by some retailers) ; ecodesign of such objects often goes with the establishment of contracts between various stakeholders of the value chain (Fares et al. 2012). Finally designing landscape mosaics (to collectively fight a pest for example or for aesthetic purposes), PDO set of rules or local food systems requires involving various stakeholders with a willing for collective commitment. In such process unusual stakeholders such as bystanders or consumers may be involved in direct or indirect (inquires, representatives) ways. Generally, a linkage between design processes at various scales is a key issue to allow designing innovative and sustainable agricultural systems as underlined by Meynard et al, 2017.

Unlike model-based design, often focusing on scientific and technical knowledge, the approach of prototyping workshops appears suitable for ecodesign implementation. In such workshops, sharing the aims and expectations of the various actors is not easy, because their interests can be

contradictory, their representations of the situation irreconcilable, or their information asymmetrical (Meynard et al., 2012). (Bos 2008) and (Ravier et al. 2015) report that, when design is performed by heterogeneous collectives of actors, it is more efficient to integrate the full set of expectations from the various stakeholders, instead of trying to build a consensus, arbitrating among their interests, at the beginning of the design process. The consideration, during the design process, of all expectations of all the stakeholders appears to be favorable to a larger exploration of innovative solutions (Ravier et al. 2015). Special attention needs to be paid when LCA is used, in order to avoid that its high number of indicators and its status of 'scientific truth' hinders the expression of participants which may believe their expectations deserve less weight in the decision process.

4.3. Participatory ecodesign renews scientific challenges for LCA

The implementation of participatory ecodesign renews scientific challenges for LCA (Andersson 2000; Audsley et al. 1997; Milà i Canals 2003). It also raises new ones related to "ex ante" evaluation of prototypes. Finally, how to share LCA results to an uninitiated public within participative workshops is a key question to be addressed. Table 6 summarizes the main limits for LCA use in participatory ecodesign approach. First of all, LCA is complex to apply as it requires time for data collection and expertise for system modeling and result analysis. To deal with such complexity, there is extensive literature defining good practices and rules for performing LCA for many particular product category (Bessou et al. 2013; Nemecek and Kägi 2007; Perrin et al. 2014). However such good practices and rules remain a problem for designing innovative agricultural systems, as they may not be applicable to innovative product with fuzzy identity and/or scarce qualitative data available. Qualitative indicators or checklists could be derived from LCA to perform preliminary assessment in early design process. Secondly LCA may be complex to communicate on, which may represent an obstacle to participatory process and a fortiori to generativity. The impact categories commonly reported, which are mid-point indicators (climate change and freshwater ecotoxicity are examples), are a proxy representation of environmental impacts, midway along the causal chain between the environmental flux and its resulting environmental damages. Non LCA-experts may prefer end-point indicators, which are less complex (3 vs. up to 18 for mid-point categories), but there is a higher degree of uncertainty embedded in the results, as causal chains are longer and involve many more assumptions on the way. Mid-point indicators provide a preferred level of details for the scientific community because they contain lower uncertainties (Huijbregts et al. 2017). However, the high number of indicators causes difficulties in negotiating around trade-offs between impact categories and requires dialogues between stakeholders of the supply-chain. LCA complexity and its high number of indicators limits its use by farmers in their step-by-steps design process: simplified tools or checklists to be used by farmers or agricultural extension services could be based on LCA performed by academics to better integrate the derived amount of knowledge into learning loops on the field. Finally, despite its holistic approach LCA still fails to consider all the environmental considerations that are important for agricultural stakeholders. For example the comparison between conventional and organic systems suffers a lot from the lack of indicators to address biodiversity or soil quality issues (Notarnicola et al. 2017). In addition, environment is only one aspect to include in design approach. Developers, users and decision-makers need to align other dimension to properly assess designed product such as economic aspects, feasibility or resilience to name just a few. For food products, quality and security aspects are of great importance and should be included systematically in design approach (Renaud-Gentié 2015).

Table 6 : Mains characteristics of LCA to be enhanced and associated limits for its use in ecodesign of innovative systems

LCA main characteristics	Limits for its use in participatory ecodesign
Holistic and quantitative set of indicators	- The large need for data and the pre-defined set of indicators promotes rule-based design over innovative design
Multi-criteria assessment	- The high number of indicators hinders the communication to stakeholders and the design process - The focus on the environmental dimension and missing environmental burdens (biodiversity losses, soil quality decrease) hinders the design process
Indicators for potential impact	- The complex link between production processes and environmental burdens and the high degree of uncertainty for aggregated indicators hinders the communication
Life-cycle perspective based on the functional unit	- The enlargement of the scope requires dialogue between stakeholders of the value chain

In the ecodesign of processed products, agri-food companies and retailers may use checklists based on the Product Environmental Footprint (PEF) initiative from the European Union (Lehmann et al. 2015) or on LCA based references from literature. However the complex link between agricultural practices and environmental impact, the strong dependency to soil and climate conditions and the high variability of practices limit the relevancy of checklist to ecodesign agricultural production systems. Then analytical tools appear the best option. In addition to usual features of LCA tools (Renouf et al. 2018), LCA-based eco-design tools should allow the modeling of novel products or systems, facilitate trade-off management between impact categories, reinforce the dialogue between stakeholders of the supply chain and support participants as far as possible in their decision-making process.

5. Conclusions and future works

Ecodesign appears to be an interesting approach to design innovative agricultural systems which address the pressing environmental issues, by enlarging the scope of current design approach in agriculture to the full value chain and to new environmental criteria. We demonstrated the need for a participatory approach, and illustrated the diversity of objects which can be subject of collective ecodesign approaches.

The development of ecodesign renews the scientific challenges for LCA, especially those associated to the need for generativity within innovative design processes. Reducing the number of indicators to be displayed appears needed to ease the dialogue between LCA results and stakeholder. To do so the different options (aggregation, end-point, selection of indicators) should be investigated with regards to their ability to ensure knowledge exchange. With current tools, performing LCA assessment remains time and data-consuming which renews the need for simplified or customized LCA tools specific to agricultural production systems and including links with transformation and even consumption stages. More flexible tools based on checklist or guidelines formats may be of interest to provide fast inputs from LCA at early stages of design processes. Implementing ecodesign to the agri-food sector also renews scientific challenges for multicriteria assessment. The economic dimension is capital in the farmers' design process of agricultural systems. In this purpose, environmental and economic assessments should be performed on a production system defined with consistent limits and relevant functions. Important practice changes needing investments in new

equipment and/or work load change and thus manpower organization change are decided at farm scale based on economic and organizational rationales. The farm scale therefore seems relevant for integrating economic indicators. In such case, a scale-up in the LCA methodology from single plot to entire farm is required in order to move closer to the design process level. In addition database gathering environmental and economic data are necessary to support such approach.

The agro ecologic transition occurs through collective commitment such as the inclusion of environmentally-friendly practices in PDOs' set of rules as recently supported by the French institute for quality and origin of product (INAO). Combining high quality product with environment-friendly production practices appears as an obvious objective to be addressed through ecodesign. Such application would require predicting effect of practice change on product quality in order to assess *a priori* the newly designed agricultural production systems. A qualitative approach in the participative ecodesign approach based on field actors' expertise may establish this relationships and the assessment of the production system quality potential. Such application also opens new methodological challenges associated to the implication of new types of stakeholders in the process of ecodesign like consumers and bystanders in addition to farmer and extension services.

Problématique et démarche

La présentation du contexte montre le besoin de reconception des systèmes agricoles lié à l'émergence et l'urgence de la question des impacts environnementaux de l'agriculture. L'application de l'éco-conception en agriculture semble ainsi offrir de nouvelles perspectives pour la conception de systèmes agricoles. En effet, très peu appliquée à l'agriculture, elle peut permettre d'intégrer la dimension environnementale d'une manière différente des approches actuellement proposées dans la recherche agronomique. Basée sur l'ACV, elle permet notamment d'intégrer des impacts liés à l'amont à et à l'aval de la production agricole et d'élargir le spectre des indicateurs environnementaux. Son application peut également s'exercer à différentes échelles allant de la parcelle au territoire. D'autre part, la participation des acteurs de terrain durant les démarches de conception apparaît essentielle en agriculture. Ces démarches peuvent en effet bénéficier des connaissances locales portées par ces acteurs, ce qui peut améliorer l'adéquation des solutions au contexte local et donc faciliter leur adoption par ces mêmes acteurs.

Dans l'objectif d'accompagner la filière viticole à intégrer à la fois les enjeux environnementaux et ceux liés à la qualité du raisin, les travaux récents de l'USC Grappe ont abouti à un nouveau concept : l'éco-quali-conception®. Ces travaux de thèse visent à appliquer ce concept dans le cadre d'une démarche participative d'écoconception d'itinéraires techniques viticoles. La principale question de recherche est donc la suivante : Quel type de démarche et quels outils permettent l'éco-quali-conception® collective d'itinéraires techniques viticoles ?

Comme précisé précédemment, il n'existe pas de référence sur l'éco-conception en agriculture et l'application de l'ACV à l'échelle de l'itinéraire technique a été identifiée comme pertinente. L'objectif de cette thèse est donc de mettre en place une démarche d'éco-conception de systèmes viticoles d'AOC, basée sur l'ACV et intégrant la qualité des raisins, pour accompagner le changement de pratiques. Focalisée sur l'itinéraire technique, cette démarche intègre principalement des viticulteurs et des conseillers et s'appuie sur des éléments de méthodes issus de la littérature sur la conception collective.

Alors que plusieurs auteurs parmi les chercheurs sur la conception de systèmes agricoles appellent à des processus de conception innovants et disruptifs, l'éco-conception est décrite comme un processus d'amélioration continue et peut ainsi être définie comme étant de la conception « pas à pas » selon la définition de Meynard et al (2012). A partir de ce postulat, la démarche proposée dans le cadre de cette thèse vise à accompagner les viticulteurs dans la conception d'itinéraires techniques viticoles (ITK) plus respectueux de l'environnement.

Elle repose sur les hypothèses suivantes :

- La mise en place d'ateliers de co-conception avec les viticulteurs est pertinente pour éco-concevoir en viticulture.
- L'éco-conception nécessite de pouvoir fournir plusieurs niveaux d'agrégation des résultats ACV et des outils pour la manipulation de l'objet conçu.
- Le format en ateliers permet de faciliter l'appropriation de la méthodologie et des résultats ACV.

Nous avons choisi de baser la démarche sur des cas d'étude et leurs résultats d'ACV. L'approche est basée sur un mode de participation collégiale durant des ateliers de conception. Cependant, la

définition de l'objectif (amélioration de la performance environnementale) et le choix des critères et outils d'évaluation (l'ACV) sont définis par les chercheurs. Ainsi, à l'échelle du projet de recherche, le mode de participation est plutôt collaboratif. Enfin, étant donné l'objectif d'accompagnement au changement, la démarche inclut essentiellement des viticulteurs et conseillers viticoles.

La connaissance environnementale est principalement apportée au travers des résultats ACV. Le cadre méthodologique proposé par Renaud-Gentié (2015) est utilisé pour calculer les impacts environnementaux des ITK cas d'étude. Un score agrégé (Beauchet 2016) sera utilisé pour permettre aux participants de situer la performance environnementale de chaque ITK dans un échantillon régional.

Le cadre méthodologique étant défini, ces travaux de thèse poursuivent deux principaux objectifs :

- 1) Proposer et analyser une démarche participative d'éco-quali-conception® appliquée aux itinéraires techniques viticoles. Au cours de ces travaux de thèse, nous avons testé une première approche de l'éco-quali-conception® sous forme d'ateliers de co-conception d'itinéraires techniques viticoles avec deux groupes de viticulteurs engagés dans la réduction de l'utilisation des produits phytosanitaires (groupes DEPHY). L'analyse de ces deux premières expériences doit permettre d'identifier les atouts de la démarche et les perspectives d'améliorations.
- 2) Identifier comment les résultats d'ACV d'itinéraires techniques peuvent être rendus utilisables dans une démarche participative d'éco-conception. La démarche proposée s'articule autour de plusieurs éléments liés à la présentation des résultats d'ACV et leur utilisation tout au long de la démarche. Cette expérience a permis d'identifier des verrous et des solutions liées à l'utilisation des résultats d'ACV dans ce type de démarche.

Ce manuscrit est donc organisé selon ces deux objectifs (Figure 5) qui feront l'objet des chapitres 2 et 3. Il inclut quatre articles scientifiques publiés, soumis ou à soumettre. Tout d'abord, un de ces articles a été publié dans *Oeno One* (Rouault et al. 2016). Cet article vise à comparer deux itinéraires techniques issus de deux modes de production différents (raisonné et biologique). Cet article est disponible en Annexe car il ne répond pas directement aux questions de recherche du manuscrit. Néanmoins, il a contribué à l'appropriation du cadre méthodologique pour l'application de l'ACV aux itinéraires techniques viticoles et à valider l'intérêt de l'ACV pour identifier les pratiques viticoles les plus impactantes d'un point de vue environnemental. Ces travaux ont été un pré-requis aux questions de recherche du manuscrit. L'article présenté dans le Chapitre 1 sera soumis en Janvier 2019 dans *Journal of Cleaner Production*. Un troisième article sera soumis en Janvier 2019 dans *International Journal of Life Cycle Assessment* et constitue le Chapitre 2. Enfin, un dernier article sera soumis en Février 2019 dans *Agronomy For Sustainable Development* et sera présenté dans le Chapitre 3.

La démarche de thèse et le dispositif expérimental sont présentés dans la Figure 6.

Contexte

La viticulture a plusieurs impacts sur l'environnement

L'éco-conception permet d'intégrer les enjeux environnementaux à la conception d'un produit

L'ACV est un outil d'éco-conception qui permet une évaluation multicritère des impacts environnementaux

La participation des agriculteurs aux processus de conception innovante est essentielle pour assurer la pertinence des solutions et leur adoption

La qualité du raisin est un critère de décision important dans la construction des itinéraires techniques viticoles

Démarche de recherche

Chapitre 1 Identifier les opportunités et défis liés à l'application de l'éco-conception en agriculture

Article à soumettre à Journal of Cleaner Production

Problématique

Quel type de démarche et quels outils permettent l'éco-quali-conception® collective d'itinéraires techniques viticoles ?

Hypothèses de recherche

- La mise en place d'ateliers de co-conception avec les viticulteurs est pertinente pour éco-concevoir en viticulture
- L'éco-conception nécessite de pouvoir fournir plusieurs niveaux d'agrégation des résultats ACV et des outils pour la manipulation de l'objet conçu
- Le format en ateliers permet de faciliter l'appropriation de la méthodologie et des résultats

Chapitre 2

Identifier et résoudre les verrous méthodologiques liés à l'utilisation de résultats d'ACV dans une démarche participative d'éco-quali-conception® d'itinéraires techniques

Article soumis à International Journal of Life Cycle Assessment

Chapitre 3

Proposer et analyser une première démarche participative d'éco-quali-conception® d'itinéraires techniques viticoles

Article à soumettre à Agronomy for Sustainable Development

Figure 5 : Problématique de la thèse et structure du manuscrit

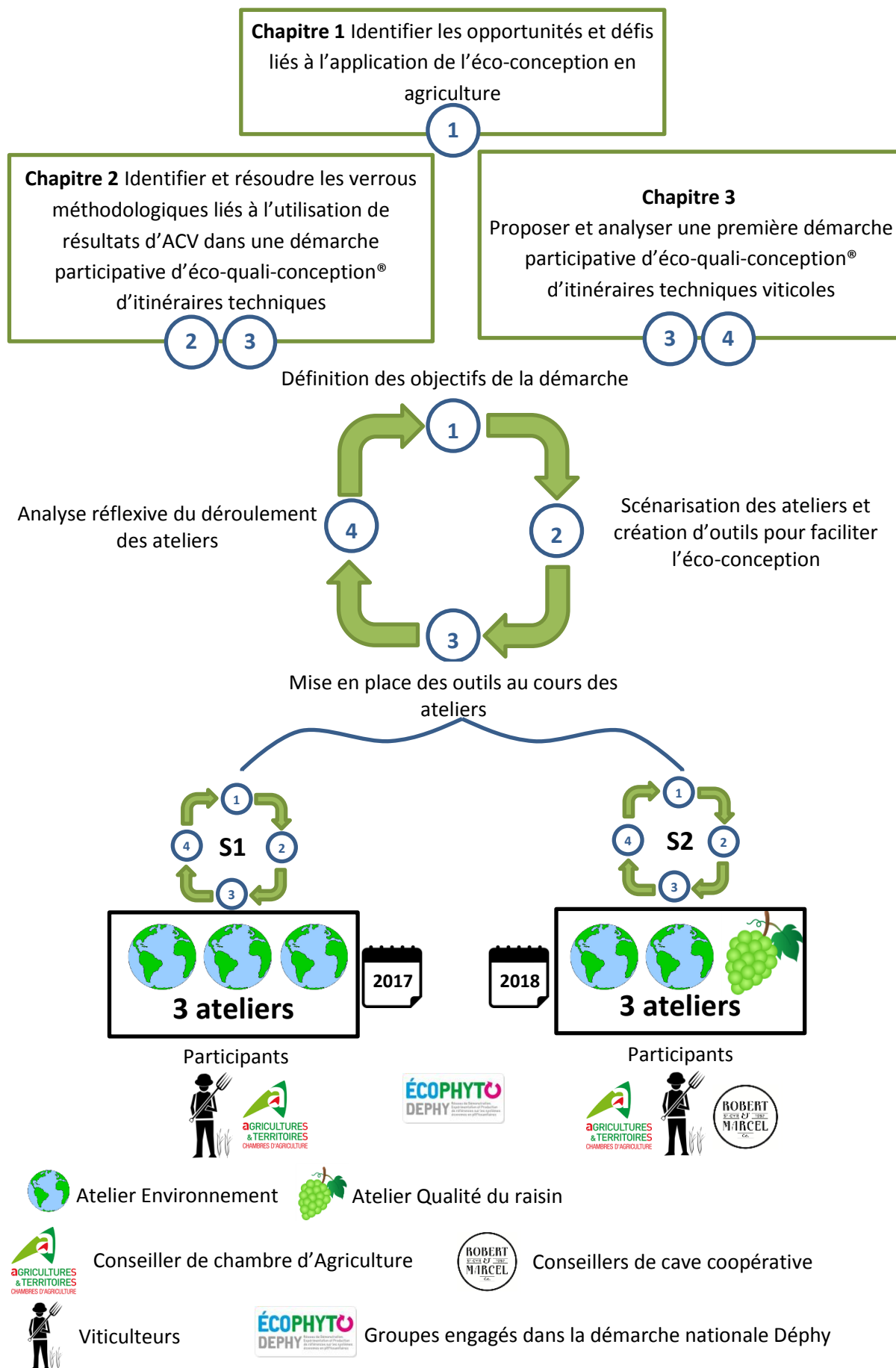


Figure 6 : Présentation de la démarche de thèse (S1 : Session d'ateliers n°1 ; S2 : Session d'ateliers n°2)

Références

- ADEME (modified 2018) Les impacts de notre alimentation sur l'environnement - ADEME; cited 2018]. Available from: <https://www.ademe.fr/en/particuliers-eco-citoyens/dossiers-comprendre/dossier/alimentation-environnement-cest-quoi-rapport/impacts-alimentation-environnement>
- AgenceBio (2017) La Bio Dans l'Union Européenne.
- Alaphilippe A, Simon S, Brun L, Hayer F, Gaillard G (2013) Life cycle analysis reveals higher agroecological benefits of organic and low-input apple production. *Agronomy for sustainable development*;33(3):581-592.
- Alim'Agri (2017) Étude prospective sur les comportements alimentaires de demain et élaboration d'un dispositif de suivi des principales tendances de consommation à destination des entreprises de la filière alimentaire. Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation.
- Altieri M A (1989) Agroecology: A new research and development paradigm for world agriculture. *Agriculture, Ecosystems & Environment*;27(1):37-46.
- Altieri M A (2004) Linking ecologists and traditional farmers in the search for sustainable agriculture. *Frontiers in Ecology and the Environment*;2(1):35-42.
- Andersson K (2000) LCA of food products and production systems. *The International Journal of Life Cycle Assessment*;5(4):239-248.
- Audsley E, Alber S, Clift R, Cowell S, Crettaz P, Gaillard G, Hausheer J, Jolliet O, Kleijn R, Mortensen B (1997) Harmonisation of environmental life cycle assessment for agriculture. Final Report, Concerted Action AIR3-CT94-2028 European Commission, DG VI Agriculture;139.
- Barbier J M, Constant N, Davidou L, Deliere L, Guisset M, Jacquet O, Lafond D, Panon M-L, Sauvage D (2011) CEPviti: co-conception de systèmes viticoles économes en produits phytosanitaires.
- Barreteau O, Bots P W G, Daniell K A (2010) A Framework for Clarifying "Participation" in Participatory Research to Prevent its Rejection for the Wrong Reasons. *Ecology and Society*;15(2).
- Basset-Mens C, van der Werf H M G (2005) Scenario-based environmental assessment of farming systems: the case of pig production in France. *Agriculture, Ecosystems & Environment*;105(1):127-144.
- Baumann H, Boons F, Bragd A (2002) Mapping the green product development field: engineering, policy and business perspectives. *Journal of Cleaner Production*;10(5):409-425.
- 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.: L'Université Bretagne Loire.
- Bedos C, Cellier P, Calvet R, Barriuso E, Gabrielle B (2002) Mass transfer of pesticides into the atmosphere by volatilization from soils and plants: overview. *Agronomie*;22(1):21-33.
- Benedetto G (2013) The environmental impact of a Sardinian wine by partial Life Cycle Assessment. *Wine Economics and Policy*;2(1):33-41.

Benedetto G, Corinto G, Rugani B, Vázquez-Rowe I, Benetto E (2013) The evolution of life cycle assessment (LCA): some guidelines for future research in the wine sector. Proceedings of the L Annual Meeting of SIDEA, Lecce p. 26-28.

Berentsen P, Giesen G (1995) An environmental-economic model at farm level to analyse institutional and technical change in dairy farming. *Agricultural Systems*;49(2):153-175.

Bergez J E, Colbach N, Crespo O, Garcia F, Jeuffroy M H, Justes E, Loyce C, Munier-Jolain N, Sadok W (2010) Designing crop management systems by simulation. *European Journal of Agronomy*;32(1):3-9.

Bertoluci G, Trystram G (2013) Eco-concevoir pour l'industrie alimentaire: quelles spécificités? *Marché et organisations* (1):123-135.

Bessou C, Basset-Mens C, Tran T, Benoist A (2013) LCA applied to perennial cropping systems: a review focused on the farm stage. *The International Journal of Life Cycle Assessment*;18(2):340-361.

Blair B, Carter T, inventors; United States Patent Application assignee^assignees. Product development process. United States. 2003.

Bockstaller C, Guichard L, Makowski D, Aveline A, Girardin P, Plantureux S (2008) Agri-environmental indicators to assess cropping and farming systems. A review. *Agronomy for sustainable development*;28(1):139-149.

Boks C (2006) The soft side of ecodesign. *Journal of Cleaner Production*;14(15):1346-1356.

Boks C, McAloone T C (2009) Transitions in sustainable product design research. *International Journal of Product Development*;9(4):429-449.

Bos A P (2008) Instrumentalization Theory and Reflexive Design in Animal Husbandry. *Social Epistemology*;22(1):29-50.

Bos B, Koerkamp P G (2009) Synthesising needs in system innovation through structured design: a methodical outline of the role of needs in reflexive interactive design (RIO). In: Poppe, K.J.; Termeer, C.; Slingerland, M., editors, *Transitions toward sustainable agriculture and food chains in peri-urban areas*: Wageningen Academic Publishers; p. 312.

Botonaki A, Tsakiridou E (2004) Consumer response evaluation of a Greek quality wine. *Food Economics-Acta Agriculturae Scandinavica, Section C*;1(2):91-98.

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*.

Bravdo B A (2001) Effect of cultural practices and environmental factors on fruit and wine quality. *Agriculturae Conspectus Scientificus*;66(1):13-20.

Brown L, Scholefield D, Jewkes E C, Lockyer D R, del Prado A (2005) NGAUGE: A decision support system to optimise N fertilisation of British grassland for economic and environmental goals. *Agriculture, Ecosystems & Environment*;109(1):20-39.

Butler S J, Vickery J A, Norris K (2007) Farmland Biodiversity and the Footprint of Agriculture. *Science*;315(5810):381-384.

Cabidoche Y M, Achard R, Cattan P, Clermont-Dauphin C, Massat F, Sansoulet J (2009) Long-term pollution by chlordecone of tropical volcanic soils in the French West Indies: A simple leaching model accounts for current residue. *Environmental Pollution*;157(5):1697-1705.

Cabrera V E, Breuer N E, Hildebrand P E, Letson D (2005) The dynamic North Florida dairy farm model: A user-friendly computerized tool for increasing profits while minimizing N leaching under varying climatic conditions. *Computers and Electronics in Agriculture*;49(2):286-308.

Calow P, Holloway L, Owen A (2001) *Ecodesign from the ground up: taking steps without footprints. A step by step guide to greener product development.* Shot in the Dark, Brighthouse.

Castellani V, Sala S, Benini L (2017) Hotspots analysis and critical interpretation of food life cycle assessment studies for selecting eco-innovation options and for policy support. *Journal of Cleaner Production*;140:556-568.

Cerf M, Jeuffroy M-H, Prost L, Meynard J-M (2012) Participatory design of agricultural decision support tools: taking account of the use situations. *Agronomy for sustainable development*;32(4):899-910.

Chesbrough H, Bogers M (2014) *Explicating Open Innovation: Clarifying an Emerging Paradigm for Understanding Innovation*, [w:] *Open Innovation: New Frontiers and Applications*, red. H. Chesbrough, W. Vanhaverbeke. J West, Oxford: Oxford University Press.

Chiffolleau Y (2005) Learning about innovation through networks: the development of environment-friendly viticulture. *Technovation*;25(10):1193-1204.

Christ K L, Burritt R L (2013) Critical environmental concerns in wine production: an integrative review. *Journal of Cleaner Production*;53:232-242.

Compagnone C, Hellec F, Macé K, Morlon P, Munier-Jolain N, Quéré L (2008) Raisonement des pratiques et des changements de pratiques en matière de désherbage: regards agronomique et sociologique à partir d'enquêtes chez des agriculteurs. *Innovations agronomiques*;3:89-105.

Conde C, Silva P, Fontes N, Dias A C P, Tavares R M, Sousa M J, Agasse A, Delrot S, Gerós H (2007) Biochemical changes throughout grape berry development and fruit and wine quality.

Coquil X, Blouet A, Fiorelli J, Bazard C, Trommenschlager J (2009) Conception de systemes laitiers en agriculture biologique: une entree agronomique. *Productions animales*;22(3):221.

Coulon C (2012) 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: Université d'Angers.

Craheix D, Angevin F, Bergez J-E, Bockstaller C, Colomb B, Guichard L, Reau R, Doré T (2012) MASC 2.0, un outil d'évaluation multicritère pour estimer la contribution des systèmes de culture au développement durable. *Innovations agronomiques*;20:35-48.

De Luca A I, Iofrida N, Leskinen P, Stillitano T, Falcone G, Strano A, Gulisano G (2017) Life cycle tools combined with multi-criteria and participatory methods for agricultural sustainability: Insights from a systematic and critical review. *Science of The Total Environment*;595:352-370.

Dekoninck E A, Domingo L, O'Hare J A, Pigosso D C A, Reyes T, Troussier N (2016) Defining the challenges for ecodesign implementation in companies: Development and consolidation of a framework. *Journal of Cleaner Production*;135:410-425.

Erkman S (2004) Vers une écologie industrielle. Vol. 137. Editions Charles Léopold Mayer, Paris.

European Commission (2005) DIRECTIVE 2005/32/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 6 July 2005 establishing a framework for the setting of ecodesign requirements for energy-using products and amending Council Directive 92/42/EEC and Directives 96/57/EC and 2000/55/EC of the European Parliament and of the Council. Official Journal of the European Union. p. 191/129 - 191/158.

European Commission (2016) Product Environmental Footprint Pilot Guidance, - Guidance for the implementation of the EU Product Environmental Footprint (PEF) during the Environmental Footprint (EF) pilot phase.

European Commission (2018) Product Environmental Footprint Category Rules (PEFCR) for still and sparkling wine.

FAO (modified 2015) FAO's Strategic Objective 1: Help eliminate hunger, food insecurity and malnutrition 15/11/2017]. Available from: <http://www.fao.org/about/what-we-do/so1/fr/>

Fares M h, Magrini M-B, Triboulet P (2012) Agroecological transition, innovation and lock-in effects: The impact of the organizational design of supply chains. The French Durum wheat supply chain case. *Cahiers Agricultures*;21(1):34-45.

Ferrendier S, Mathieux F, Rebitzer G, Simon M, Froelich D (2002) Eco-design Guide: Environmentally Improved Product Design Case Studies of the European Electrical and Electronics Industry. *ECOLIFE Thematic Network*:21-34.

Fusi A, Guidetti R, Benedetto G (2014) Delving into the environmental aspect of a Sardinian white wine: From partial to total life cycle assessment. *Science of The Total Environment*;472:989-1000.

Garrigues-Quéré E, Rouault A, Perrin A, Renaud-Gentié C, Julien S, Jourjon F (2018) Viti LCA Database for grapes management eco-design in Loire Valley, France. 11th International Conference on Life Cycle Assessment of Food 2018 (LCA Food). Bangkok, Thailand.

Gazulla C, Raugei M, Fullana-i-Palmer P (2010) Taking a life cycle look at crianza wine production in Spain: where are the bottlenecks? *The International Journal of Life Cycle Assessment*;15(4):330-337.

Goulet F, Pervanchon F, Conteau C, Cerf M (2008) Les agriculteurs innovent par eux-mêmes pour leurs systèmes de culture. Systèmes de culture innovants et durable: quelles méthodes pour les mettre au point et les évaluer ? :np.

Gouttenoire L, Cournut S, Ingrand S (2013) Participatory modelling with farmer groups to help them redesign their livestock farming systems. *Agronomy for sustainable development*;33(2):413-424.

Groot J C J, Rossing W A H, Lantinga E A, Van Keulen H (2003) Exploring the potential for improved internal nutrient cycling in dairy farming systems, using an eco-mathematical model. *NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences*;51(1):165-194.

Guillaumin P, Couderc J-P, Rio P (2012) Déterminants technico-économiques des pratiques culturales en viticulture: caractérisation des exploitations adoptant des itinéraires techniques économes en intrants phytosanitaires dans la viticulture méditerranéenne. *Progrès Agricole et Viticole*;129(18):126-131.

Guilpart N (2014) Relations entre services écosystémiques dans un agroécosystème à base de plantes pérennes: compromis entre rendement de la vigne et régulation de l'oïdium: Montpellier, SupAgro.

Heijungs R, Goedkoop M, Struijs J, Effting S, Sevenster M, Huppes G (2003) Towards a life cycle impact assessment method which comprises category indicators at the midpoint and the endpoint level. Report of the first project phase: Design of the new method VROM report.

Heller M C, Keoleian G A, Willett W C (2013) Toward a Life Cycle-Based, Diet-level Framework for Food Environmental Impact and Nutritional Quality Assessment: A Critical Review. *Environmental Science & Technology*;47(22):12632-12647.

Hellweg S, Milà i Canals L (2014) Emerging approaches, challenges and opportunities in life cycle assessment. *Science*;344(6188):1109-1113.

Hossard L (2012) Conception participative et évaluation numérique de scénarios spatialisés de systèmes de culture. Cas de la gestion du phoma du colza et de la durabilité des résistances: AgroParisTech.

Huijbregts M A, Steinmann Z J, Elshout P M, Stam G, Verones F, Vieira M, Zijp M, Hollander A, van Zelm R (2017) ReCiPe2016: a harmonised life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level. *The International Journal of Life Cycle Assessment*;22(2):138-147.

INAO (2017) Les produits sous signe d'identification de la qualité et de l'origine - Chiffres-clés 2016.

ISO (2002) ISO 14062:2002 - Environmental Management: Integrating environmental aspects into product design and development. International Organization for Standardization.

ISO (2006a) ISO 14040:2006 - Environmental management -- Life cycle assessment -- Principles and framework.

ISO (2006b) ISO 14044:2006 - Environmental management -- Life cycle assessment -- Requirements and guidelines.

ISO (2011) ISO 14006:2011 - Environmental Management Systems—Guidelines for Incorporating Ecodesign.

ISO (2015) ISO 14001:2015 - Environmental management systems—requirements with guidance for use.

Johansson G (2002) Success factors for integration of ecodesign in product development: a review of state of the art. *Environmental Management and Health*;13(1):98-107.

Jourjon F, Chou H-C, Gezart A, Kadison A, Martinat L, Pomarici E, Vecchio R (2016a) Wineries Evaluation of Costs and Benefits of Sustainability Certification Program: The Case of Terra Vitis in France. *Recent patents on food, nutrition & agriculture*;8(2):138-147.

Jourjon F, Coulon C, Symoneaux R (2017) Diversité des AOC—diversité des labels environnementaux—diversité des consommateurs: quelle stratégie de valorisation pour la filière viticole? *BIO Web of Conferences*: EDP Sciences p. 03009.

Jourjon F, Sigwalt A, Symoneaux R (2016b) Démarches et affichages environnementaux. Perception par les professionnels: Partie 2/3: Quelle stratégie collective et quels leviers pour la mise en marché des vins? *Revue des oenologues et des techniques vitivinicoles et oenologiques: magazine trimestriel d'information professionnelle*;43(158):55-57.

Jover A J V, Montes F J L, Fuentes M d M F (2004) Measuring perceptions of quality in food products: the case of red wine. *Food Quality and Preference*;15(5):453-469.

Juraske R, Mutel C L, Stoessel F, Hellweg S (2009) Life cycle human toxicity assessment of pesticides: Comparing fruit and vegetable diets in Switzerland and the United States. *Chemosphere*;77(7):939-945.

Knight P, Jenkins J O (2009) Adopting and applying eco-design techniques: a practitioners perspective. *Journal of Cleaner Production*;17(5):549-558.

Kulak M, Nemecek T, Frossard E, Gaillard G (2016) Eco-efficiency improvement by using integrative design and life cycle assessment. The case study of alternative bread supply chains in France. *Journal of Cleaner Production*;112, Part 4:2452-2461.

Lacombe C, Couix N, Hazard L (2018) Designing agroecological farming systems with farmers: A review. *Agricultural Systems*;165:208-220.

Lafond D, Metral R (2015) Concevoir en partenariat une EcoViticulture ECONomiquement viable et ECOlogiquement responsable par rapport aux pesticides (EcoViti). *Innovations agronomiques*;46:39-50.

Lallemand J-F (2014) Ecosavoirs vignerons et co-construction du changement de pratiques viticoles à grande échelle. *Le Courrier de l'environnement de l'INRA*;64(64):29-38.

Lamine C (2011) Transition pathways towards a robust ecologization of agriculture and the need for system redesign. Cases from organic farming and IPM. *Journal of Rural Studies*;27(2):209-219.

Lançon J, Reau R, Cariolle M, Munier-Jolain N, Omon B, Petit M-S, Viaux P, Wery J (2008) Elaboration à dire d'experts de systèmes de culture innovants. *Systèmes de culture innovants et durables: quelles méthodes pour les mettre au point et les évaluer*:91-107.

Le Gal P Y, Dugué P, Faure G, Novak S (2011) How does research address the design of innovative agricultural production systems at the farm level? A review. *Agricultural Systems*;104(9):714-728.

Le Masson P, Weil B, Hatchuel A (2006) *Les processus d'innovation: Conception innovante et croissance des entreprises*. Lavoisier Paris.

Lee S-Y, Rhee S-K (2005) From end-of-pipe technology towards pollution preventive approach: the evolution of corporate environmentalism in Korea. *Journal of Cleaner Production*;13(4):387-395.

Lefèvre V, Capitaine M, Peigne J, Roger-Estrade J (2013) Co-designing innovative cropping systems to improve soil functioning in organic farming. *Innovations agronomiques*;32:47-60.

Lehmann A, Bach V, Finkbeiner M (2015) Product environmental footprint in policy and market decisions: Applicability and impact assessment. *Integrated Environmental Assessment and Management*;11(3):417-424.

Lewandowska A, Matuszak-Flejszman A (2014) Eco-design as a normative element of Environmental Management Systems—the context of the revised ISO 14001:2015. *The International Journal of Life Cycle Assessment*;19(11):1794-1798.

Lockshin L, Corsi A M (2012) Consumer behaviour for wine 2.0: A review since 2003 and future directions. *Wine Economics and Policy*;1(1):2-23.

Logan T J (1993) Agricultural best management practices for water pollution control: current issues. *Agriculture, Ecosystems & Environment*;46(1):223-231.

- Loyce C, Rellier J P, Meynard J M (2002) Management planning for winter wheat with multiple objectives (2): ethanol-wheat production. *Agricultural Systems*;72(1):33-57.
- Luttropp C, Lagerstedt J (2006) EcoDesign and The Ten Golden Rules: generic advice for merging environmental aspects into product development. *Journal of Cleaner Production*;14(15–16):1396-1408.
- Mac Millan T, Benton T G (2014) Agriculture: Engage farmers in research. *Nature*;509:25-27.
- Martin G, Felten B, Duru M (2011) Forage rummy: A game to support the participatory design of adapted livestock systems. *Environmental Modelling & Software*;26(12):1442-1453.
- Martin G, Martin-Clouaire R, Duru M (2012) Farming system design to feed the changing world. A review. *Agronomy for sustainable development*;33(1):131-149.
- Masson J, J. (2014) Le projet Repère 3SCED : sciences de la nature, sciences humaines et sociales et savoirs «profanes» co-construisent des connaissances pour le développement durable. *Le Courrier de l'environnement de l'INRA*;64(64):21-26.
- MEA (2005) *Ecosystems and human well-being: Synthesis*. Island Press, Washington, DC.
- Meier M S, Stoessel F, Jungbluth N, Juraske R, Schader C, Stolze M (2015) Environmental impacts of organic and conventional agricultural products – Are the differences captured by life cycle assessment? *Journal of Environmental Management*;149:193-208.
- Meynard J-M, Dedieu B, Bos A P (2012) Re-design and co-design of farming systems. An overview of methods and practices. In: Darnhofer, I.; Gibbon, D.; Dedieu, B., editors, *Farming Systems Research into the 21st Century: The New Dynamic*. Dordrecht: Springer Netherlands; p. 405-429.
- Meynard J-M, Jeuffroy M-H, Le Bail M, Lefèvre A, Magrini M-B, Michon C (2017) Designing coupled innovations for the sustainability transition of agrifood systems. *Agricultural Systems*.
- Meynard J M (2008) *Produire autrement: réinventer les systèmes de culture. Systèmes de culture innovants et durables* Paris.
- Milà i Canals L (2003) *Contributions to Life Cycle Analysis for Agricultural Systems. Site-dependency and soil degradation impact assessment: Thesis doctoral*, Universitat Autònoma, Bellaterra.
- Mischler P, Lheureux S, Dumoulin F, Menu P, Sene O, Hopquin J-P, Cariolle M, Reau R, Munier-Jolain N, Faloya V (2009) Huit fermes de grande culture engagées en production intégrée réduisent les pesticides sans baisse de marge. *Le Courrier de l'environnement de l'INRA*;57(57):73-91.
- Moraine M, Grimaldi J, Murgue C, Duru M, Therond O (2016) Co-design and assessment of cropping systems for developing crop-livestock integration at the territory level. *Agricultural Systems*;147:87-97.
- Morlat R (2010) *Traité de viticulture de terroir*. Editions Tec&Doc.
- Navarrete M, Bellon S, Geniaux G, Lamine C, Penvern S, Sautereau N, Tchamitchian M (2011) L'écologisation des pratiques en arboriculture et maraîchage. Enjeux et perspectives de recherches. *Courrier de l'environnement de l'INRA*;62:57-70.
- Nemecek T, Hayer F, Bonnin E, Carrouée B, Schneider A, Vivier C (2015) Designing eco-efficient crop rotations using life cycle assessment of crop combinations. *European Journal of Agronomy*;65:40-51.

Nemecek T, Kägi T (2007) Life cycle inventories of agricultural production systems. ürich and Dübendorf, Switzerland: Swiss Centre for Life Cycle Inventories Ecoinvent - ART.

Neto B, Dias A C, Machado M (2012) Life cycle assessment of the supply chain of a Portuguese wine: from viticulture to distribution. *The International Journal of Life Cycle Assessment*;18(3):590-602.

Notarnicola B, Sala S, Anton A, McLaren S J, Saouter E, Sonesson U (2016) The role of life cycle assessment in supporting sustainable agri-food systems: A review of the challenges. *Journal of Cleaner Production*.

Papanek V, Fuller R B (1972) *Design for the real world*. Thames and Hudson London.

Penavayre S, Lempereur V, Huet A-P, Gillet S, Pernet C, Besnier A, Farrant L, Jolibert F (2016) Using Life Cycle Assessment to identify potential environmental impacts of an agrifood sector: Application to the PDO Beaujolais and Burgundia wine sector. *BIO Web Conf*;7:01009.

Perrin A, Basset-Mens C, Gabrielle B (2014) Life cycle assessment of vegetable products: a review focusing on cropping systems diversity and the estimation of field emissions. *The International Journal of Life Cycle Assessment*;19(6):1247-1263.

Perrin A, Wohlfahrt J, Morandi F, Østergård H, Flatberg T, De La Rua C, Bjørkvoll T, Gabrielle B (2017) Integrated design and sustainable assessment of innovative biomass supply chains: A case-study on miscanthus in France. *Applied Energy*;204:66-77.

Petit M, Reau R, Dumas M, Moraine M, Omon B, Josse S (2012) Mise au point de systèmes de culture innovants par un réseau d'agriculteurs et production de ressources pour le conseil. *Innovations agronomiques*;20:79-100.

Pigosso D C A, Rozenfeld H, McAlloone T C (2013) Ecodesign maturity model: a management framework to support ecodesign implementation into manufacturing companies. *Journal of Cleaner Production*;59:160-173.

Point E, Tyedmers P, Naugler C (2012) Life cycle environmental impacts of wine production and consumption in Nova Scotia, Canada. *Journal of Cleaner Production*;27:11-20.

Pôle Eco-conception (2016) *Guide d'Eco-Conception Agroalimentaire 2016* In: Pole Eco-conception, editor.

Pujari D, Wright G, Peattie K (2003) Green and competitive. *Journal of Business Research*;56(8):657-671.

Ravier C, Prost L, Jeuffroy M-H, Wezel A, Paravano L, Reau R (2015) Multi-criteria and multi-stakeholder assessment of cropping systems for a result-oriented water quality preservation action programme. *Land Use Policy*;42:131-140.

Reau R, Monnot L-A, Schaub A, Munier-Jolain N, Pambou I, Bockstaller C, Cariolle M, Chabert A, Dumans P (2012) Les ateliers de conception de systèmes de culture pour construire, évaluer et identifier des prototypes prometteurs. *Innovations agronomiques*;20:5-33.

Reijnders L (1998) The Factor X Debate: Setting Targets for Eco-Efficiency. *Journal of Industrial Ecology*;2(1):13-22.

Renaud-Gentié C (2015) 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,

application aux itinéraires techniques de production de raisins de Chenin blanc pour vins blancs secs d'AOC en Moyenne Vallée de la Loire: Université Nantes-Angers-Le Mans.

Renouf M A, Renaud-Gentié C, Perrin A, Kanyarushoki C, van der Werf H M G, Jourjon F (2017) Challenges and recommendations for designing customised agricultural life cycle assessment tools for informing environmental improvements. *Journal of Cleaner Production*; Under review.

Renouf M A, Renaud-Gentié C, Perrin A, van der Werf H M G, Kanyarushoki C, Jourjon F (2018) Effectiveness criteria for customised agricultural life cycle assessment tools. *Journal of Cleaner Production*.

Rossi M, Germani M, Zamagni A (2016) Review of ecodesign methods and tools. Barriers and strategies for an effective implementation in industrial companies. *Journal of Cleaner Production*; 129:361-373.

Rossing W A H, Jansma J E, De Ruijter F J, Schans J (1997) Operationalizing sustainability: exploring options for environmentally friendly flower bulb production systems. *European Journal of Plant Pathology*; 103(3):217-234.

Rouault A, Beauchet S, Renaud-Gentie C, Jourjon F (2016) Life Cycle Assessment of viticultural technical management routes (TMRs): comparison between an organic and an integrated management route. *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin*; 50(2):77-89.

Rousseaux P, Gremy-Gros C, Bonnin M, Henriel-Ricordel C, Bernard P, Floury L, Staigre G, Vincent P (2017) "Eco-tool-seeker": A new and unique business guide for choosing ecodesign tools. *Journal of Cleaner Production*; 151:546-577.

Roy P, Nei D, Orikasa T, Xu Q, Okadome H, Nakamura N, Shiina T (2009) A review of life cycle assessment (LCA) on some food products. *Journal of food engineering*; 90(1):1-10.

Rugani B, Vázquez-Rowe I, Benedetto G, Benetto E (2013) A comprehensive review of carbon footprint analysis as an extended environmental indicator in the wine sector. *Journal of Cleaner Production*; 54:61-77.

Salembier C, Horacio Elverdin J, Meynard J-M (2016) Tracking on-farm innovations to unearth alternatives to the dominant soybean-based system in the Argentinean Pampa. *Agronomy for sustainable development*; 36(1).

Salembier C, Segrestin B, Berthet E, Weil B, Meynard J-M (2018) Genealogy of design reasoning in agronomy: Lessons for supporting the design of agricultural systems. *Agricultural system*; 164:277-290.

Schils R L M, de Haan M H A, Hemmer J G A, van den Pol-van Dasselaar A, de Boer J A, Evers A G, Holshof G, van Middelkoop J C, Zom R L G (2007) DairyWise, A Whole-Farm Dairy Model. *Journal of Dairy Science*; 90(11):5334-5346.

Sebillotte M (1974) *Agronomie et agriculture. Essai d'analyse des tâches de l'agronome. Cahiers de l'ORSTOM*; 24:3-25.

Simon S, Lesueur-Jannoyer M, Plénet D, Lauri P-É, Le Bellec F (2016) Methodology to design agroecological orchards: Learnings from on-station and on-farm experiences. *European Journal of Agronomy*.

- Stewart R, Bey N, Boks C (2016) Exploration of the barriers to implementing different types of sustainability approaches. In: Seliger, G.; Kruger, J., editors. Vol. 48, 23rd Cirp Conference on Life Cycle Engineering; p. 22-27.
- Stoate C, Boatman N D, Borralho R J, Carvalho C R, Snoo G R d, Eden P (2001) Ecological impacts of arable intensification in Europe. *Journal of Environmental Management*;63(4):337-365.
- Tilman D, Cassman K G, Matson P A, Naylor R, Polasky S (2002) Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*;418:671.
- Tóth G, Hermann T, Da Silva M R, Montanarella L (2016) Heavy metals in agricultural soils of the European Union with implications for food safety. *Environment International*;88:299-309.
- Tukker A, Eder, Charter M, Haag E, Vercauteren A, Wiedmann T (2001) Eco-design: The State of Implementation in Europe – Conclusions of a State of the Art Study for IPTS. *The Journal of Sustainable Product Design*;1(3):147-161.
- Urruty N, Boiffin J, Guyomard H, Deveaud T (2015) Usage des pesticides en agriculture: effets des changements d'usage des sols sur les variations de l'indicateur NODU.
- van der Werf H M G, Garnett T, Corson M S, Hayashi K, Huisingsh D, Cederberg C (2014) Towards eco-efficient agriculture and food systems: theory, praxis and future challenges. *Journal of Cleaner Production*;73:1-9.
- van der Werf H M G, Petit J (2002) Evaluation of the environmental impact of agriculture at the farm level: a comparison and analysis of 12 indicator-based methods. *Agriculture, Ecosystems & Environment*;93(1):131-145.
- Vayssières J, Bocquier F, Lecomte P (2009a) GAMEDE: A global activity model for evaluating the sustainability of dairy enterprises. Part II – Interactive simulation of various management strategies with diverse stakeholders. *Agricultural Systems*;101(3):139-151.
- Vayssières J, Guerrin F, Paillat J-M, Lecomte P (2009b) GAMEDE: A global activity model for evaluating the sustainability of dairy enterprises Part I – Whole-farm dynamic model. *Agricultural Systems*;101(3):128-138.
- Vázquez-Rowe I, Cáceres A L, Torres-García J R, Quispe I, Kahhat R (2016) Life Cycle Assessment of the production of pisco in Peru. *Journal of Cleaner Production*.
- Vázquez-Rowe I, Villanueva-Rey P, Moreira M T, Feijoo G (2012) Environmental analysis of Ribeiro wine from a timeline perspective: Harvest year matters when reporting environmental impacts. *Journal of Environmental Management*;98:73-83.
- Vereijken P (1997) A methodical way of prototyping integrated and ecological arable farming systems (I/EAFS) in interaction with pilot farms. In: van Ittersum, M.K.; van de Geijn, S.C., editors. Vol. 25, *Developments in Crop Science*: Elsevier; p. 293-308.
- Villanueva-Rey P, Vázquez-Rowe I, Moreira M T, Feijoo G (2014) Comparative life cycle assessment in the wine sector: biodynamic vs. conventional viticulture activities in NW Spain. *Journal of Cleaner Production*;65:330-341.
- Viret O (2011) Régulation des rendements en viticulture. *Revue suisse de viticulture, arboriculture et horticulture*;43(5):277.

Wreford A, Moran D, Adger N (2010) Climate Change and Agriculture: Impacts, Adaptation and Mitigation (Summary). OECD Publishing, Paris.

CHAPITRE 2 : LEVER LES VERROUS LIES A L'UTILISATION DE L'ACV DANS UNE DEMARCHE PARTICIPATIVE D'ECO-CONCEPTION D'ITINERAIRES TECHNIQUES VITICOLES

Avant-propos	49
Challenging	50
1. Introduction.....	51
2. Material & Methods	52
2.1. Objectives of the eco-design process	52
2.2. Eco-design tools.....	53
2.2.1. A specific format to display LCA results	53
2.2.2. A serious game.....	55
2.2.3. A simplified calculation tool.....	56
2.3. LCA methodology	56
2.4. Main characteristics of the five LCA case studies	57
3. Results	60
3.1. Understanding of LCA results	60
3.2. Environmental solutions suggested by the participants : expectations vs. reality.....	62
3.2.1. Pesticides applications	62
3.2.2. Fertilisation	63
3.2.3. Grass management.....	64
3.2.4. Fuel consumption.....	65
3.3. Co-design of eco-designed TMRs	66
4. Discussion	68
4.1. Achievements and improvement opportunities of the proposed eco-design process	68
4.2. Identifying most impactful operations or not ?.....	68
4.3. Interest and limits of aggregation and weighting of LCA results for eco-design.....	69
4.4. Relevance of annual TMR scale for eco-design	69
5. Conclusion	70
References	71
Supplementary	74

Avant-propos

La première question de recherche de ces travaux porte sur l'identification et la résolution de verrous méthodologiques pour l'utilisation de résultats d'ACV dans le cadre d'une démarche participative d'éco-quali-conception® d'itinéraires techniques viticoles.

Un pré-requis à cette question fût de valider l'intérêt et la fiabilité de l'ACV pour discriminer des itinéraires techniques viticoles différents mis en œuvre dans des situations de production identiques (production de vins blancs secs de cépage Chenin en Anjou-Saumur). Comme précisé précédemment, ce pré-requis fait partie intégrante des travaux de thèse et a été vérifié au travers d'une publication (Rouault et al., 2016, cf. Annexe 1). Cette publication a permis l'identification de quelques limites méthodologiques lors de la comparaison d'itinéraires techniques viticoles biologiques et raisonnés : amélioration de la modélisation des émissions de nitrates, de métaux lourds et de pesticides, manque de précision des données sur le stock de métaux lourds dans les sols, manque de données sur les consommations de carburant et les émissions liées à ces consommations et absence de prise en compte de la toxicité humaine. L'utilisation des résultats d'ACV dans une démarche participative d'éco-conception d'itinéraires techniques oblige à dépasser certaines de ces limites liées aux données et choix de modélisation. D'autres limites liées à la compréhension et à la manipulation des résultats d'ACV par des non-experts peuvent également être identifiées.

Ce chapitre vise à identifier et résoudre les principaux verrous méthodologiques liés à l'utilisation de résultats d'ACV d'itinéraires techniques viticoles dans une démarche participative d'éco-conception avec des agriculteurs. Les éléments de réponse sont illustrés par les deux sessions d'ateliers d'éco-conception d'itinéraires techniques viticoles qui ont été construits, préparés et menés durant ces travaux de thèse.

Challenging LCA in a participatory eco-design approach in agriculture: the example of vineyard management.

Anthony Rouault^{1,2}, Aurélie Perrin¹, Christel Renaud-Gentié¹, Séverine Julien¹, Frédérique Jourjon¹

Soumis à International Journal of Life Cycle Assessment

¹USC 1422 GRAPPE, Univ. Bretagne Loire, Ecole Supérieure d'Agricultures (ESA)-INRA, SFR 4207 QUASAV, 55 rue Rabelais, 49007 Angers, France.

²ADEME, Service Forêt, Alimentation, Bioéconomie, 20 Avenue du Grésillé, 49000 Angers, France

Abstract

Purpose : The paper shows how three tools based on Life Cycle Assessment (LCA) were created for an eco-design approach in viticulture, how these tools contributed to the reduction of environmental impacts of Technical Management Routes (TMR) and how they have been used by two different groups of winegrowers and extension officers in this purpose. This paper is among the first to explore the use of LCA in participatory approaches in agriculture.

Methods : The eco-design approach contains two main phases: (i) suggestion of more eco-efficient solutions by the participants based on their understanding of LCA results of a TMR, (ii) eco-design of the TMR based on initial operations from the case study and alternative operations generated during the previous phase. Three challenges have been identified to use LCA in this approach : (i) Making LCA results understandable for participants; (ii) Enabling easy manipulation of LCI data and modularity of LCA results; (iii) Need for live LCA results during the collective design process. Three tools have been created to fulfill these objectives: (i) a specific format to display LCA results during workshops, (ii) a “serious game” to build new TMRs, (iii) a simplified calculation tool to evaluate TMRs.

Results and discussion : 4 out of the 5 case studies explored with these tools were actually improved at the end of the participatory eco-design approach. The specific format used to display LCA results helped identifying the most impactful operations within initial TMRs. The “serious game” stimulated discussions between participants about alternative operations. Representing unit operations with cards was successful to engage participants in the eco-design process. Finally, eco-design parameters available in the “live” LCA tool allowed participants to improve consistency of unit operations with reality and to discuss how to optimize these parameters in order to both reduce environmental impacts and meet the (agronomic, economic and organizational) requirements of winegrowers.

Conclusion : The created tools made it possible to guide discussions towards improving the most impactful practices while allowing other practice changes to be integrated. The proposed approach and the challenges identified for the creation of the tools seem relevant for transposition to other agricultural production sectors. However, while the annual TMR scale is interesting for engaging farmers in the production process, other scales can help to better integrate certain decision criteria.

Keywords : Life cycle assessment, eco-design tools, viticulture, farming system design, innovative design, participatory approach, farming practices, Technical Management Route

1. Introduction

As agricultural systems must satisfy new expectations, especially with regards to environmental issues, the way new systems are designed has to change. Therefore, “introduction of new additional objectives” (e.g. environmental and social issues), a “major change in the concepts and knowledge to be mobilized” (e.g. empowerment of farmers) and a “revision of evaluation methods and criteria” are needed (Meynard et al. 2012). In agronomic research, participation of farmers in agricultural system design processes has gained interest in the last decade (Lacombe et al. 2018; Le Gal et al. 2011; Mac Millan and Benton 2014; Martin et al. 2012; Meynard et al. 2012). Indeed, a better articulation between scientific knowledge and local knowledge (i.e. knowledge from farmers and local extension services) could lead to a better adaptation of innovations to local conditions and constraints (Mac Millan and Benton 2014; Meynard et al. 2012).

Eco-design has the potential to answer the three needs previously mentioned and can help designing new and eco-efficient agricultural systems. Indeed, eco-design aims at including environmental issues into the product development process with the aim of reducing adverse environmental impacts of products throughout their entire life cycles (Lewandowska and Kurczewski 2010). Thus, it introduces new additional objectives (i.e. environmental ones) in the design process while introducing a major concept: life cycle thinking. Finally, eco-design brings in new evaluation methods (e.g. life cycle assessment, energy and toxicity matrix) and criteria. Numerous eco-design tools have been developed to inform and assist eco-design (Rousseaux et al. 2017). Life Cycle Assessment (LCA) is the most recommended tool for informing eco-design (Lewandowska and Matuszak-Flejszman 2014). As an analytical tool (Knight and Jenkins 2009), it can be used to acquire knowledge about the environmental performance of an existing product-system (to guide the development of a new product) or a prototype (at the end of the product development process) (Ferrendier et al. 2002). However, LCA is complex to implement in companies (especially for small and medium-sized enterprises). Indeed, it requires a high level of expertise and lot of time (Le Pochat et al. 2007; Rebitzer et al. 2004). Consequently, the use of simplified and customised LCA or eco-design tools is more widespread, even if they are still perceived as tools for experts (Knight and Jenkins 2009). In agriculture, the use of customized LCA tools with agents of change should ensure a good balance between analysis capacity and ease of use (Renouf et al. 2018).

In agriculture, LCA has been widely applied in the past decades to assess different types of farm management (e.g organic vs. conventional) and LCA has achieved an important consensus for the evaluation of environmental impacts of agri-food products (Andersson 2000; Brentrup et al. 2004; Roy et al. 2009). In the wine sector, the interest of LCA for assessment of a wine bottle life cycle’s impacts has also been highlighted (Petti et al. 2015). Several studies stressed the important contribution of grape production phase to the whole environmental impacts of a bottle of wine (Fusi et al. 2014; Gazulla et al. 2010; Neto et al. 2013; Penavayre et al. 2016; Point et al. 2012; Rugani et al. 2013; Vázquez-Rowe et al. 2012). Thus, some studies focused on this phase and showed that LCA can discriminate different management techniques according to their environmental performance (Beauchet et al. 2018; Renaud-Gentié 2015; Rouault et al. 2016; Villanueva-Rey et al. 2014).

Joining LCA and participatory approaches could be of great interest for ecodesign in agriculture. Participatory processes in LCA approaches are poorly documented in the literature. However, some studies showed how this tool could be used in an eco-design process with stakeholders in the context of agriculture and how it could empower them in their decision. However, few authors identified the

potential benefits for including stakeholders in the LCA process (Beauchet 2016; De Luca et al. 2017; Kulak et al. 2016; Mathe 2014). First, life cycle approaches can “take advantage of the integration of participatory tools” in every phase of the LCA methodology (i.e. goal and scope definition, inventory analysis, impact assessment, interpretation) (De Luca et al. 2017). Indeed, stakeholders can provide useful information and knowledge that can help better define the system to be studied and the objective of the evaluation practices for decision-making. Symmetrically, LCA can provide valuable environmental information to agents of change in agriculture and help them consider practice change (Beauchet 2016; Kulak et al. 2016). Indeed, compared to other sustainability assessment tools, life cycle tools enable widening the scope of the assessment (life cycle perspective), introducing a long term perspective, a global focus on the consequences and the possibility of catching burden shifts. Thus, stakeholders could be empowered by learning more about the consequences of their decisions and actions.

Therefore, in order to design effectively with farmers more environmental friendly agricultural management, we joined participatory approach and LCA. With a focus on viticultural Technical Management Routes (TMRs), we developed a participatory eco-design approach with winegrowers and extension officers and applied it in the Loire Valley area. We identified three main challenges in order to make LCA results useable during this collective eco-design approach. As a consequence of these challenges, three specific tools have been developed to help participants propose solutions to reduce environmental impacts of viticultural TMRs. The objective of this paper is to show how these tools contributed to the objective of environmental impact reduction and how they have been used by participants in such an objective. We then discuss achievement and improvement opportunities for the tools created and discuss the benefits of a participatory use of LCA and LCA tools in agriculture.

2. Material & Methods

2.1. Objectives of the eco-design process

Our participatory eco-design approach aims at designing viticultural TMRs with reduced environmental impacts while maintaining yield and grape quality; we call this process “Eco-quali-conception”[®]. TMR is defined as a logical and organized succession of technical choices (Sebillotte 1974). The whole approach is composed of a session of three workshops, each of them pursuing specific objectives. This approach was tested with 2 different working groups which initial objective was to reduce pesticide use. These groups are mainly composed of winegrowers and an extension officer. It must be stressed that the case studies presented in the workshops are taken from some winegrowers of the group. Selection of the case studies was made on a voluntary basis, while trying to have contrasting TMRs. Moreover, during the workshops, “case study” winegrowers are part of the eco-design process of their own TMR.

In both sessions of workshops, the collective eco-design process can be divided in two main phases: (i) suggestion of more eco-efficient solutions by the participants based on their understanding of LCA results of a TMR, (ii) eco-design of the TMR based on initial operations from the case study and alternative operations generated during the previous phase.

During the first phase of the eco-design process (i.e. suggestion of solutions by participants), participants need to understand the LCA results of the case studies. LCA results are often complex to

understand for non-LCA experts. The challenge here is to make identification of hotspots easier for participants as well as introducing some details about the source of impact.

During the second phase, participants both need to build a new TMR and to evaluate the environmental improvements enabled by this new TMR. There are two challenges here. First, building a new TMR during the workshop should be easy for the participants and implementation of the alternative operations proposed by participants in the LCA modelling of the new TMR should be easy. Secondly, LCA results of the new TMR should be available to participants while the TMR is being built.

Consequently, here are the three main challenges that LCA must overtake for the participatory eco-design approach we developed:

- i) Making LCA results understandable for participants.
- ii) Enabling easy manipulation of life cycle inventory (LCI) data and modularity of LCA results
- iii) Need for live LCA results during the collective design process.

2.2. Eco-design tools

To address these challenges, we developed three tools to be used during the workshops: (i) a specific format to display LCA results in a understandable manner during the workshops, (ii) a serious game letting participants build eco-designed TMRs while being a support for discussions, (iii) a simplified calculation tool to evaluate eco-designed TMRs during workshops.

2.2.1. A specific format to display LCA results

As underlined by (Renouf et al. 2018), a key challenge when using LCA tools in agriculture with agents of change is the balance between the analysis capacity those tools provide to the agents and the ease of use for them. Then, we assumed that, to be understandable for viticulture practitioners, LCA results of a TMR should allow for several levels of analysis. Then, we identified three main functions for LCA results in the participatory eco-design process. LCA results should: (i) give an overview of the overall environmental performance of the TMR compared to other reference TMRs, (ii) enable identification of the most impacting operations, (iii) give the opportunity to understand the source of impact. Thus, we created a specific diagram (Figure 7) that displays three main types of information corresponding to the three functions identified:

- i) a single score of environmental performance for the TMR calculated with CONTRA-Qualenvic® method (Beauchet 2016; Botreau et al. 2018) from LCA results.
- ii) a customized chart showing the contribution of each unit operation to the total impact of the TMR. The contribution analysis by unit operation has been adopted assuming that it would facilitate participants' understanding of the results.
- iii) details about the impact categories contributing to the impact of each unit operations.

As this diagram does not completely fulfill the third function, booklets containing detailed information about the source of impact (i.e. contribution analysis with identification of the most impacting substances and processes for all impact categories) were available for facilitators in order to explain details and answer questions from participants.

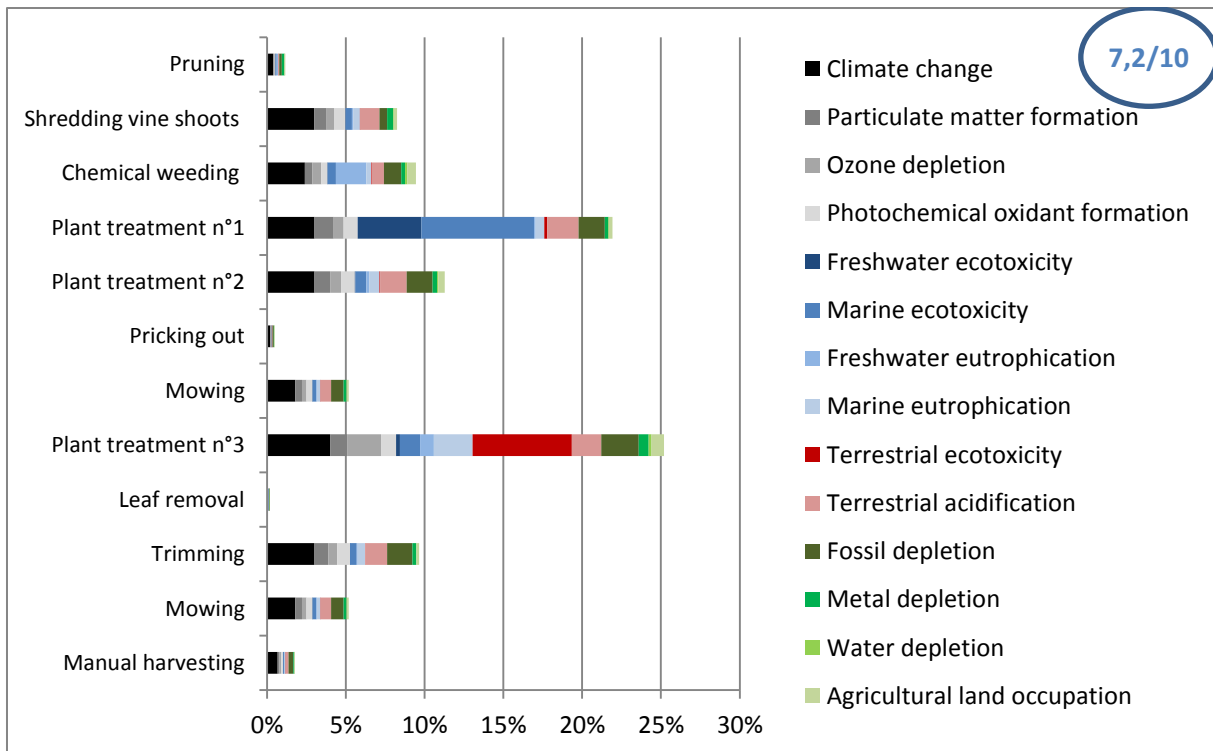


Figure 7 : Structure of the diagrams created for the workshops: Single score and contribution of the viticultural unit operations to the total impacts of a TMR for vintage 2016.

The single score was calculated thanks to CONTRA-Qualenvic® method (Beauchet 2016; Botreau et al. 2018). This single score is based on the aggregation of 14 impact categories. The lower environmental impacts of the TMR are, the higher the score is. The single score was established in initial to the worst and best TMR between 10 contrasted TMRs in the Loire valley. Weighting of impact categories is based on a scientific consensus between LCA and viticulture researchers (Beauchet 2016).

Concerning the customized chart, for each impact category, the contributions (%) of each unit operation to the total impact score are first weighted with CONTRA-Qualenvic's coefficients (see Table 1). All contributions of the same unit operation are then added together. The calculation of the contribution of each unit operation to the total aggregated impact of the TMR is therefore carried out according to the following equation:

$$I_{Op/CONTRA} = \sum_i I_{Op_i} * C_{CONTRA_i}$$

With: $I_{Op/CONTRA}$: % of contribution of an operation to the aggregated impact of the TMR.

I_{Op_i} : % of contribution of an operation to the total impact of the TMR for i impact category.

C_{CONTRA_i} : CONTRA-Qualenvic coefficient for i impact category (see Table 7)

Table 7 : List of impact categories and their CONTRA-Qualenvic coefficients

Impact category (i)	CONTRA coefficient (C_{CONTRA_i})
Climate Change	0,18
Particulate Matter Formation	0,045





Ozone depletion	0,0375
Photochemical oxidant formation	0,0375
Freshwater ecotoxicity	0,1
Marine ecotoxicity	0,0625
Freshwater eutrophication	0,05
Marine eutrophication	0,0375
Terrestrial ecotoxicity	0,175
Terrestrial acidification	0,075
Fossil depletion	0,08
Metal depletion	0,05
Water depletion	0,04
Agricultural land occupation	0,03

For example: If the contribution of a trimming operation to the total climate change impact score of the TMR is 10%. As CONTRA-Qualenvic's coefficient for Climate Change is 0,18 , this trimming operation contributes to 1,8% of the TMR's single score. The sum of pre-pruning weighted contributions to all impacts is 9% (see Figure 7).

Weighting was predefined and thus not discussed with winegrowers during the workshops. This new LCA diagram was the basis for discussion about environmental performance of the TMR and generation of alternative operations by the groups during the workshops.

2.2.2. [A serious game](#)

Materializing the TMR to be designed is necessary during the workshops so that participants could share their ideas about it. We assume that representing the TMR as a succession of unit operations in a chronological order is the best way to facilitate its understanding and manipulation of its LCI data during the workshops. Thus, a prototype of serious game, named VitiPoly® and composed of cards and a game board, was created for use in the second workshop. Its objective is to facilitate the assembly of the operations of the eco-designed TMR and the modification of the eco-design parameters by the participants. It consists in a board game which gathers three groups of information. First, unit operations of the initial TMR are represented in the lower part. Each of them is represented by a card (see Figure 8) containing the following information: name of the operation, references of machinery used, speed of the tractor during operation (km/h) and/or duration of the operation (h/ha), fuel consumption (L/h), name and doses of the inputs used (kg/ha). Below the initial TMR, a chart representing daily precipitations all along the vintage is displayed. Secondly, in the middle of the board game, a timeline represents the main stages of the vegetative cycle of the vine. Finally, the upper part is a blank space where participants are free to build the alternative TMR with another set of cards. Some eco-design parameters on the cards can be changed, such as fuel consumption, tractor speed or duration of the operation, pesticide doses and recycling rate. We assumed that providing detailed information about the initial TMR on the same material where alternative TMR is built should ease discussions and would stimulate the eco-design process on a short time.

Pesticide applications	
83_PR_ITK1	
Anti-fungal	
	NewHolland_T4030N
	Recycling Tunnel
	7,5 Km/h
	11,1 L/h
Product :	
Target	Mildew/Powdery mildew
Active substance	Organic/Mineral
Dose	Dose reduction : [68-81]% (DH) Recycling rate : -50%
Date	June/Post-flowering



Mechanical operations	
<input type="checkbox"/> Shredding vine shoots <input type="checkbox"/> Untying vine <input type="checkbox"/> Leaf removal <input type="checkbox"/> Pre-pruning <input type="checkbox"/> Trimming	
 Km/h :	
 L/h :	Vario <input type="checkbox"/>

Figure 8 : Example of cards for two different types of operations. Blue cards represent pesticide applications, grey cards represent mechanical operations (operations which implies the use of machinery without use of inputs)

2.2.3. [A simplified calculation tool](#)

Finally, the simplified calculation tool enables displaying the diagram of LCA results (see 2.2.1) for the eco-designed TMR during the second workshop. Thus, the eco-designed TMRs can be quickly assessed directly while being eco-designed. This Excel tool integrates LCA results of both initial and alternative unit operations, calculated on SimaPro before the second workshop and gathered in a database sheet, as well as ecodesign parameters. Each card on the board game has a code which can be selected in the simulation tool. Thus, all unit operations assembled on the board game can be summed. Moreover, results of each unit operation can be adjusted with several eco-design parameters: fuel consumption, tractor speed or duration of the operation, pesticides doses and recycling rate. Before the third workshop, additional indicators are calculated to inform decision making process such as labor (hours per hectare), fuel consumption (liters per hectare), treatment frequency index (Barzman and Dachbrodt-Saaydeh 2011) or production costs (€ per ha).

2.3. LCA methodology

Cradle to farm-gate LCAs were performed following Renaud-Gentié's LCA framework (2015) for detailed evaluation of grape growing practices that allows considering life cycle impacts of each individual operation of a TMR. As the goal is the ecodesign of grape production TMRs, all the steps following grape production (wine making, transport, consumption, etc.) were not integrated into the system boundaries. System boundaries only include the techniques implemented on one plot during one vintage. Vine plantation phase and end of life of the vineyard were excluded.

On-field emissions were calculated for pesticides, phosphorus, nitrogen (NO₃, N₂O, NO_x), heavy metals and fuel (NMVOC, CO, NO_x). Emission models used to calculate these emissions were the same as in (Rouault et al. 2016) (see also Table 12 in supplementary material).

The chosen Functional Unit is 1 hectare of vineyard for wine production during one year. This unit was preferred to the unit in kilograms because the goal of the study is to help winegrowers reducing their environmental impact and because we want to fit winegrowers' mindset about their practices.

LCA results were calculated with Recipe Midpoint (H) v1.12. All impact categories were considered except Human toxicity, Ionising radiation, Urban land occupation, and Natural land transformation. Moreover, Freshwater ecotoxicity impact category from Recipe Midpoint was replaced by

Freshwater ecotoxicity impact category from USEToxTM v1.04. Indeed, USEToxTM is a consensus model supposed to represent the best application practice for characterization of toxic impacts of chemicals in LCA (Renaud-Gentié 2015) and to be the most consistent with Pest-LCI2.06 model used to calculate emissions from pesticide applications.

2.4. Main characteristics of the five LCA case studies

Two contrasted TMRs were selected for the first session of workshops and three TMRs for the second session. Table 8 summarizes the main characteristics of those TMRs.

Table 8 : Main characteristics of the TMR case studies selected for first (S1) and second (S2) sessions of workshops.

(1): Concerning biodynamic applications, the amount of raw material (often plants) needed for the preparation has been taken into account.

	TMR1_S1	TMR2_S1	TMR1_S2	TMR2_S2	TMR3_S2
Pesticides applications					
Number of pesticide applications	5	15	8	10	8
Total amount of fungicides sprayed (kg/ha)	36,6	33,4 ⁽¹⁾	27,5	36,6	50,7
Amount of organic pesticides (kg/ha)	20,1	0	10,3	14,8	11,7
Amount of copper-based product (kg/ha)	2,5	18,9	2,8	2	4
Amount of sulfur-based product (kg/ha)	14	14,2	14,4	19,8	35
Total amount of insecticides sprayed (kg/ha)	0	0	0,2	0,2	0
Type of sprayer used	Pneumatic	Pneumatic	Pneumatic	Pneumatic	Pneumatic or recycling tunnel
Fertilisation management					
Type of fertiliser used	Organic nitrogen + oligo-elements (B, Mg)	Oligo-elements (MgO, SO ₃)	Organic N,P	Organic N, P, K	None
Application method	Foliar application	Soil surface application	Soil surface application	Soil surface application	X
Weed management					
Inter-row management	All grassed	1 out of 2 grassed, 1 out of 2 mechanically weeded	1 out of 2 grassed, 1 out of 2 mechanically weeded	1 out of 2 grassed, 1 out of 2 mechanically weeded	1 out of 2 grassed, 1 out of 2 chemically weeded
Row management	Chemical weeding	Mechanical weeding	Chemical weeding	Chemical weeding	Chemical weeding
Number of chemical weeding operations	2	0	2	2	2
Total amount of herbicides sprayed (L/ha)	3	0	4	6,8	7
Number of mechanical weeding operations	0	5	5	4	0
Number of grass mowing operations	3	0	3	5	3
Canopy management					

Number of mechanical trimming operations	4	0	2	3	5
Hours of manual work for other operations	160	167,5			
Harvest			216	110,4	180
Mechanical or manual harvest ?	Manual	Manual	Mechanical harvest	Mechanical harvest	Manual harvest

3. Results

As said before, the eco-quali-conception® approach was tested with 2 different pre-existing working groups.

3.1. Understanding of LCA results

During this phase of the workshops, environmental results of the TMRs were available for participants on an A2 format (see Figure 9 for an example with “TMR1_S2” case study and supplementary material for all remaining case studies). Participants were asked to generate alternative operations in order to reduce environmental impacts of the TMR. Each group was facilitated by a researcher who could explain the environmental results of the TMR (i.e. identifying the hotspot in the technique itself) thanks to a short LCA report. This report allowed the facilitator to trace the main hotspots for each impact category. Thus, facilitators could inform participants about the main elements influencing environmental impacts of the main hotspots.

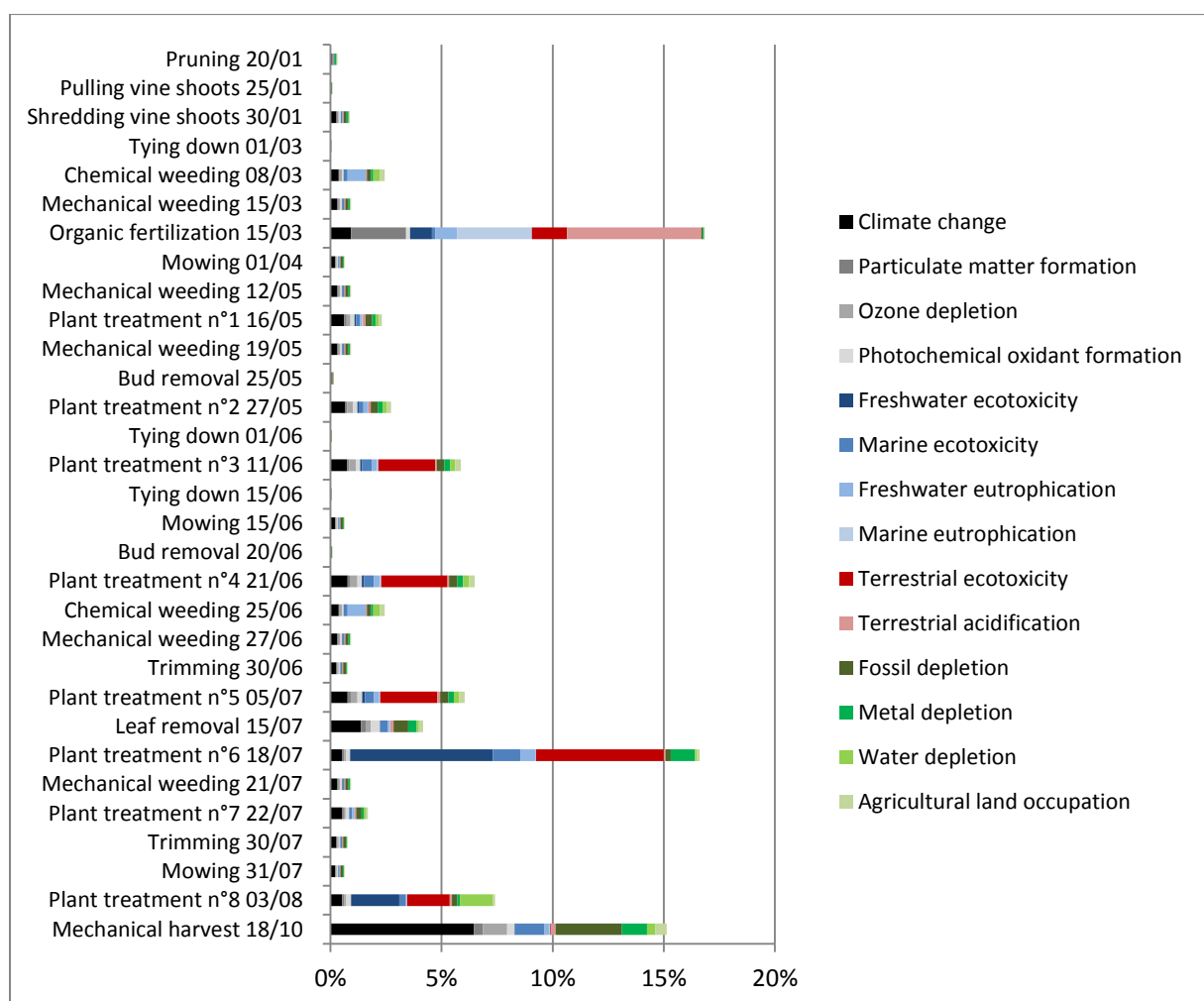


Figure 9 : Environmental results of TMR1_S2 (from the 2nd session of workshops). This graph was the basis for discussions between participants during the workshops.

Results of the TMR were commented focusing first on the hotspots (i.e. the most impacting operations). For example, the results of the TMR from Figure 9 were commented to the participants of the workshops pointing out the following elements as a basis for the generation of alternative operations by the group:

- Organic fertilisation is the main hotspot as it contributes to 16,8% of the aggregated impacts of the TMR. Its impact is mainly due to N emissions (mainly nitrate and ammonia emissions) which have potential impacts on particulate matter formation, marine eutrophication and terrestrial acidification.
- Plant treatment n°6 contributes to 16,6% of the aggregated impacts of the TMR. Its impact is mainly due to copper emissions from field application of copper-based fungicides which have potential impacts on freshwater and terrestrial ecotoxicity.
- Mechanical harvest contributes to 15,1% of the aggregated impacts of the TMR. Its impact is mainly due to fuel use which has potential impacts on climate change and fossil depletion.
- Plant treatment n°8 contributes to 7,4% of the aggregated impacts of the TMR. Its impact is mainly due to copper emissions from field application of copper-based fungicides which have potential impacts on freshwater and terrestrial ecotoxicity.
- Plant treatment n°3, n°4 and n°5 each contribute to around 5% of the aggregated impacts of the TMR. Their impact is mainly due to Metiram emissions from field application of fungicides and due to fungicides production.

Operations were usually identified as hotspots when their contribution to the overall impact of the TMR was above 5%. Hotspots identified and their occurrence in environmental results of all TMRs explored during both sessions of workshops are shown in Table 9.

Table 9 : List of practices considered as hotspots for each TMR and their occurrence.

Example: For TMR1_S1, 4 (out of 5) fungicides applications contributed to more than 5% of the aggregated environmental impact of the TMR. For 1 out of these 4 fungicides applications, emissions from copper-based products are the main contribution to the fungicides application's impacts.

	TMR1_S1	TMR2_S1	TMR1_S2	TMR2_S2	TMR3_S2
Fungicides applications (including copper-based products applications)	4/5 (1/1)	5/16 (5/8)	5/8 (2/2)	4/10 (3/3)	3/8 (1/1)
Pre-pruning	1/1				1/1
Mechanical weeding		3/5			
Mineral fertilisation		1/1			
Organic fertilisation			1/1	1/1	
Mechanical harvest			1/1	1/1	
Total of unit operations	24	30	31	36	34

However, impact reduction concerning other elements of the TMR than these hotspots has been discussed in this phase of the design process. First, as some environmental hotspots could not be identified thanks to the contribution analysis by unit operations but by inventory flows, facilitators alerted the participants about the need to reduce some inventory flows when necessary. For example, for terrestrial acidification impact category in TMR1_S1, the main contributors to impact score are related to the total diesel consumption whereas differences in diesel consumption between operations are very small. Then, for this impact category (and other impact categories highly related to diesel consumption), participants were recommended to think about solutions to reduce diesel consumption. Secondly, practices that were not identified as hotspots but that participants wanted to change were also discussed.

3.2. Environmental solutions suggested by the participants : expectations vs. reality

Alternative solutions proposed by participants during the first phase of both sessions are presented in Table 10. They mainly concern four categories of practices: pesticides applications, fertilization, grass management and fuel consumption.

After this first phase, life cycle assessment of the solutions proposed was completed by the researchers at office. Based on LCA results of these solutions, participants were asked to design new TMRs with reduced environmental impacts. Because of limited available data and limited time between the two workshops, some propositions could not be modeled with LCA.

In this section, expected results, main assumptions on how to model these solutions and actual LCA results are described. Assumptions are based on existing documentation and data about these solutions. These documentation and data were either supplied by extension services or found by the researchers. All of these elements were presented to the participants before starting to design the new TMRs.

Table 10 : Proposals generated by participants of both 1st and 2nd session of workshops based on environmental results.

Alternative solutions proposed by participants based on environmental results of case studies	LCA results available during 1 st session ?	LCA results available during 2 nd session ?
Implementing recycling tunnel for pesticides applications	Yes	Yes
Replacing pesticides responsible for important environmental impacts with less harmful pesticides	Yes	Yes
Replacing organic commercial fertilisers with organic waste fertilisers	Yes	Yes
Implementing mechanical weeding to reduce or replace chemical weeding	Yes	Yes
Coupling some operations in order to reduce fuel consumption	Yes	Yes
Investing in fuel-efficient machinery (tractor and mechanical harvester)	Yes	Yes
Investing in robots and implementing their use for some operations	Yes	Yes
Implementing cover crops in inter-rows as green manure	No	Yes
Implementing sheep grazing to avoid mechanical or chemical weeding	No	Yes
Implementing poultry grazing to avoid mechanical or chemical weeding	No	No
Mulching vine rows to avoid (mechanical or chemical weeding)	No	No
Replacing fungicides with a highly innovative fungicide based on extracts from vine shoots	No	No

3.2.1. Pesticides applications

For pesticide applications, the main solution proposed by participants was the use of a recycling tunnel sprayer. This type of sprayer enables reducing soil and air emissions of pesticides and reducing pesticides consumption. Recycling rate for each plant treatment was calculated based on data from extension services. Indeed, use of recycling tunnel enables important impact reductions essentially because of the reduction of both doses and emissions of pesticides (see Figure 10).

As some active ingredients can be an important source of impact, participants were informed thanks to detailed explanation about LCA results given by facilitators that emissions from the following

active ingredients had a high environmental impact: metiram, copper, folpet). In most cases, substitution of these active ingredients led to impact reduction (see Figure 10). In some cases, substitutions proposed by participants led to a higher and unexpected environmental impact. Different sources of environmental impact could be explained to participants. For example, Folpet, Metiram and copper-based products have a strong impact because of their emissions to environment whereas Mancozeb has a strong impact because of its production process.

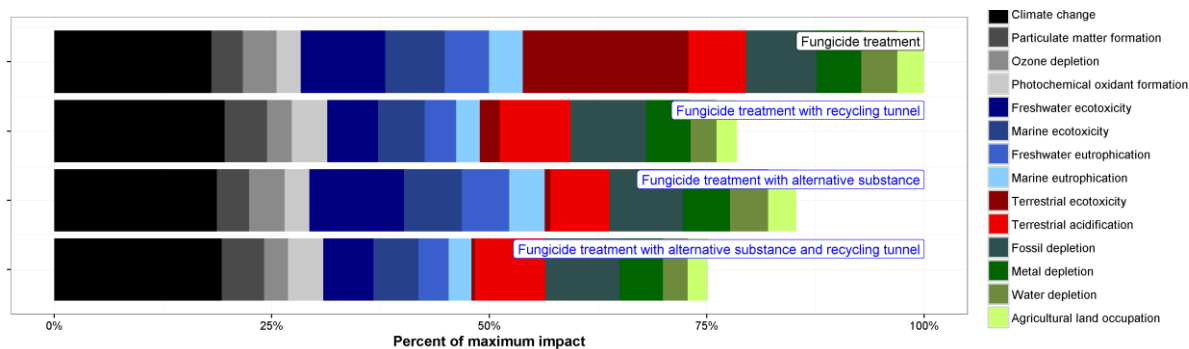


Figure 10 : Comparison of environmental impacts of initial treatment n°5 with 3 alternatives for TMR3_S2.

3.2.2. [Fertilisation](#)

Concerning fertilisation, the use of raw organic waste products (e.g. manure, compost) instead of organic commercial products (dried and processed organic wastes) has been identified as a solution by the participants. Reduction of impacts was expected because raw organic waste products are perceived by winegrowers as better for the environment (especially because they are unprocessed and need less transport). Five options have been modeled for the workshops: cow manure, grape marc, guano (for 20 units of nitrogen supply), an organic commercial product (assumed N-P content: 4,6-4,1) and a mineral product (N-P-K : 15-16-22). Details about how the different types of fertilisers could be accounted for were then explained to participants before starting the second phase of the eco-design process. Comparisons between different fertilisers (organic waste products vs. commercial organic products vs. mineral fertilisers) showed that commercial organic product was the most harmful option in most case studies whereas mineral fertiliser was the best option (see Figure 11).

Green manure is seen as a promising technique to limit erosion, reinforce life in the soils and supply nutrients for vines. Its implementation usually requires two steps: seeding the cover plants and then incorporating them into the soil. Two alternative operations have been modeled for sowing seeds: “direct sowing”, which requires only one unit operation; “traditional sowing” which requires two unit operations. 3 alternative operations have been modeled for incorporation into the soil: “grinding + incorporation” (2 unit operations), “cutting + incorporation” (2 unit operations), “flattening”. It must be noticed that only use of machinery and fuel-related air emissions were taken into account. Transport and production of the seeds were not taken into account because of a lack of data on the nature and quantity of seeds to be sown.

Green manure didn’t enable impact reduction because the unit operations for its implementation consume more fuel than the chemical or mechanical weeding it replaces. However, it must be noticed that green manure can replace fertiliser applications on a long-term scale and thus has the potential to reduce environmental impacts of future TMRs.

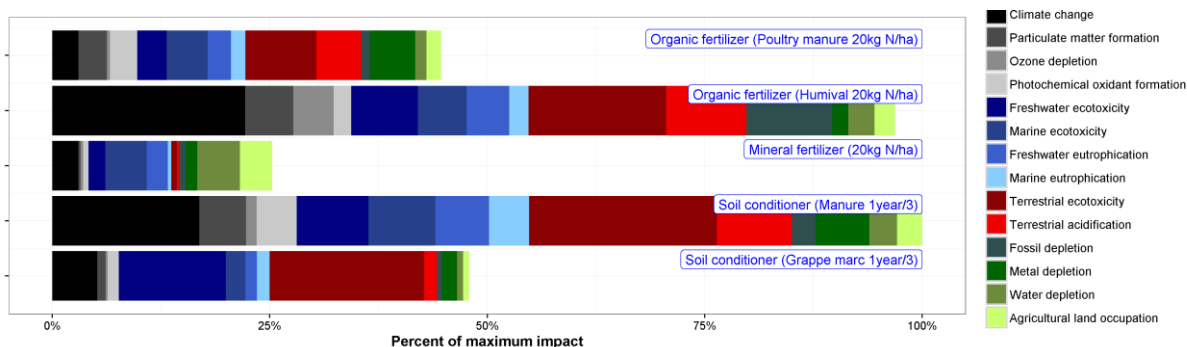


Figure 11 : Comparison of environmental impact of 5 different alternatives for fertilisation for TMR1_S2.

3.2.3. Grass management

Implementing mechanical weeding has been proposed to reduce or replace chemical weeding operations. Two alternative scenarios have been proposed by participants during the workshops. When there was mechanical weeding every second inter-row and chemical weeding was applied to all rows of vines, participants proposed to increase the width of mechanical weeding from the inter-row to the row of vines so that chemical weeding can be removed every second row. In all other cases, two to three mechanical weeding operations were required to replace a chemical weeding operation. For these operations, reliable data could be collected from winegrowers and extension officers since these practices are widespread. Therefore, impact reduction is depending on the combination of operations replaced and on the new combination implemented. However, since mechanical weeding often leads to a higher number of unit operations, it had higher impacts than replacing chemical weeding in 3 out of the 5 case studies (see Figure 12 for an example).

Sheep grazing was proposed by the participants to the 1st session and was still available for the 2nd session. The unit process we created has a one year functional unit and includes: transport of sheep from service provider to the parcel, water and food needs, electric fence supplied with a solar panel and emissions due to sheep presence on the parcel (methane, N and P emissions from faeces). 4 sheep per hectare have been considered necessary. Sheep grazing has more impact than the initial combination of grass management techniques. Impacts of this technique may be over-estimated. Indeed, since this practice is not very widespread, little data is available and approximations have had to be made.

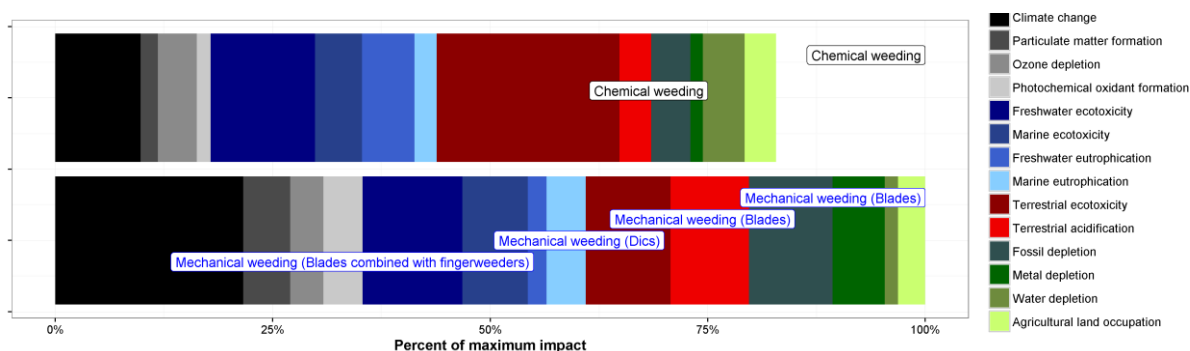


Figure 12 : Comparison of environmental impacts of the initial chemical grass management with a possible mechanical grass management for TMR2_S2. This alternative was given as an example. Participants could build their own alternative mechanical weeding strategy with available unit operations.

3.2.4. Fuel consumption

Use of electric robots is an interesting solution to reduce fuel consumption. Example of existing robots for mowing (to be used only if 100% of the parcel surface is covered with grass) and mechanical weeding under the vine row were taken into account. Only machinery production and electric consumption has been taken into account to model their impacts through LCA. The “mowing robot” is composed of machinery, solar panel and a battery. The other robot is composed of machinery and a battery. Electricity consumption has been estimated at 17 Wh per hour for the “mowing robot” (which is partially autonomous thanks to solar panel) and 1.28 kWh per hour for the other robot. Use of the mowing robot enabled important reduction of environmental impacts. Indeed, as it can only be used if 100% of the parcel is covered with grass, it replaces all chemical or mechanical weeding in addition to mowing operations. Use of the robot for mechanical weeding enabled important reduction of environmental impacts linked to fuel consumption. However, a slight increase for water depletion category could be observed. This increase is due to the use of electricity (French electric mix).

For all mechanized operations, use of fuel efficient machinery has been identified. This change didn't require new assumptions concerning LCA and could be modelled directly through the eco-design tool thanks to the ecodesign parameter “fuel consumption” during the third workshop.

Finally, coupling two operations has been identified as an efficient and simple solution to reduce fuel consumption. Combining trimming operations with mowing operations have been identified as the most feasible combination because those operations are usually occurring during the same periods of the vintage and because the existing equipment can be used to install the necessary equipment for these two operations. In all cases, coupling operation enabled important reduction of environmental impacts because of the reduction of fuel use (Figure 13).

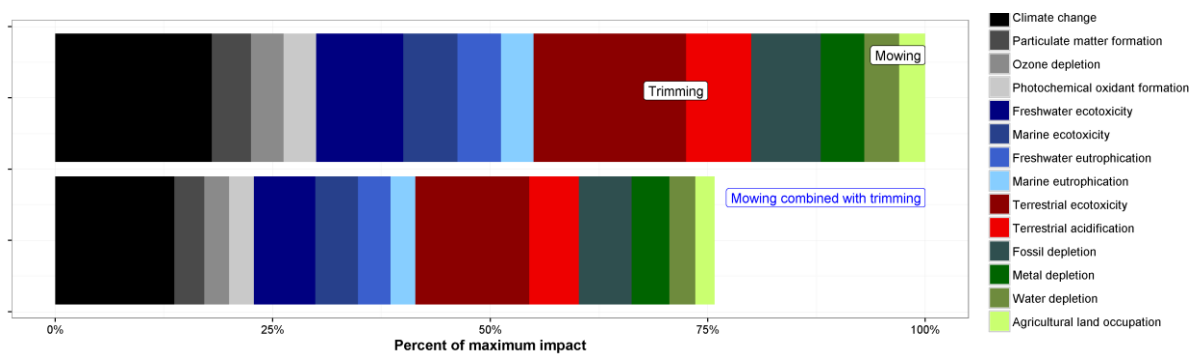


Figure 13 : Comparison of environmental impacts of two unit operations with their combination in a unique operation for TMR2_S2

3.3. Co-design of eco-designed TMRs

This phase of the design process corresponds to third workshop in the first session and the second workshop in the second session.

During this phase, both the serious game and the eco-design tool were used to assist winegrowers in the design of an eco-designed TMR. Cards representing both initial and alternative operations were available so that participants could design eco-designed TMRs on the game board. Each card has a code that corresponds to a unit process which LCA results are compiled in the eco-design tool. When participants had finished designing the TMR, one of the tool operators could type in the tool the succession of codes corresponding to the cards that have been placed. On a second screen, the environmental results of this selection are presented in the same way as in the previous workshop. Then, depending on the results and remaining time, participants could improve the TMR.

Table 11 shows which practices were actually replaced or optimised during the eco-design of the TMR.

Table 11 : Percentage of aggregated impact reduction obtained with eco-designed TMR and list of practices changed.

Example: For TMR1_S1, all fungicide applications have been optimized, pre-pruning has been deleted and 3 vine trimming and grass mowing have been coupled. Changes that were not previously identified as hotspots are underlined.

	TMR1_S1		TMR2_S1		TMR1_S2		TMR2_S2		TMR3_S2	
	Number of operations changed	% of aggregated impact reduction	Number of operations changed	% of aggregated impact reduction	Number of operations changed	% of aggregated impact reduction	Number of operations changed	% of aggregated impact reduction	Number of operations changed	% of aggregated impact reduction
Fungicides applications (including copper-based products applications)	5/5 (1/1)	- 49 %	8/16 (8/8)	- 15 %	8/8 (2/2)	- 17 %	10/10 (3/3)	- 16 %	4/8 (0/1)	- 0,2 %
Pre-pruning	1/1	- 6 %							1/1	- 1,1 %
Mechanical weeding			5/5	- 12 %	<u>5/5</u>	- 4 %				
Mineral fertilisation			0/1							
Organic fertilisation					0/1		1/1	- 2 %		
Mechanical harvest					1/1	- 5 %	1/1	- 4 %		
<u>Chemical weeding</u>					<u>2/2</u>	<u>- 3 %</u>	<u>2/2</u>	<u>- 3 %</u>	<u>2/2</u>	<u>- 4,3 %</u>
<u>Vine trimming + Grass mowing</u>	<u>3/7</u>	<u>- 4 %</u>			<u>1/5</u>	<u>- 1 %</u>			<u>3/8</u>	<u>- 1 %</u>
<u>Implementation of cover crops in inter-rows as green manure</u>					<u>+ 2 new operations</u>	<u>+3 %</u>	<u>+ 2 new operations</u>	<u>+ 4 %</u>	<u>+ 2 new operations</u>	<u>+ 7 %</u>
Total % of aggregated impact reduction compared to initial TMR		- 59%		- 27 %		- 27%		- 21%		+ 0,4%

4. Discussion

4.1. Achievements and improvement opportunities of the proposed eco-design process

4 out of the 5 case studies were actually environmentally improved at the end of the workshops. The tools for evaluating and constructing the TMR played a key role in this process. First of all, the LCA results presentation per operation made it possible to improve participants' knowledge about the environmental impacts of viticultural practices and to guide the eco-design process towards the most impactful operations. Secondly, representing unit operations with cards and the TMR as an assembly of cards was successful to engage participants in the eco-design process. Finally, the proposed eco-design parameters in the "live" LCA tool allowed the participants to adjust operations characteristics to the situation and to discuss how to optimise these parameters in order to both reduce the environmental impacts of practices and meet the requirements of winegrowers (agronomic, economic and organisational).

However, for one case study, the environmental impact of the eco-designed TMR is not lower than the initial TMR. Few reasons could explain this. First, some of the main hotspots operations have not been modified by the group. Only marginal improvements were suggested during group work. The participants and the facilitator may have forgotten to address some hotspots of the initial TMR. To fill this gap, the presentation of the results in the eco-design tool should in the future include a more detailed comparison with the initial TMR. In addition, the eco-design tools could not work properly during the second workshop of 2nd session. Thus, LCA results of the eco-designed TMRs could not be calculated and participants could not know if new improvements were necessary. Finally, for some practices (e.g. fertilisation), the proposed alternatives did not reduce the contribution of the practice to TMR's total environmental impact.

Secondly, some cards with high environmental leverage have not been used by the participants because of a lack of interest or knowledge of the winegrowers about these practices. Indeed, when the facilitator guided discussions on some very innovative practices, some groups quickly abandoned the idea of integrating these practices because they did not consider them sufficiently validated. On the other hand, some cards may not have been used simply because they were forgotten. Indeed, the number of cards available at the time of using the serious game is important (several tens). The cards could be redesigned to make it easier to encourage participants to use the cards with high improvement leverage.

4.2. Identifying most impactful operations or not ?

As mentioned above, the main objective of the format used to present the results during the workshops was to guide participants towards reducing the impacts of the most impactful operations. The choice was therefore to show the contribution of each operation to the total aggregated impact of the TMR. However, the repetition of several low impacting operations can also reduce the environmental performance of the TMR. For example, for climate change, no practice contributes significantly to this impact category, but the repetition of operations using the tractor can lead to a TMR that is not environmentally efficient. During the workshops, participants were alerted on the subject and sought to reduce the number of operations using fuel. However, the presentation of the results by contribution of inventory flows as proposed by (Renouf et al. 2018) could have allowed participants to directly identify the most impactful inventory flows. It would then have been necessary to identify for which practices these inventory flows are most important.

4.3. Interest and limits of aggregation and weighting of LCA results for eco-design

The aggregation of LCA environmental results appears necessary to facilitate the understanding of the results by a non-expert audience. This is the purpose of the CONTRA-Qualenvic method (Beauchet 2016). The single score effectively allowed participants to situate the environmental performance of TMR. For some of the TMR, having a good single score may however have hindered the willingness to improve TMR and therefore the creativity of the participants for TMRs perceived as not being perfectible.

On the other hand, it should be noted that the weighting of mid-point impact results can bias the interpretation of the results. Indeed, one of the advantages of LCA is that it can detect possible impact transfers. However, with the presentation of the results proposed to the participants, it may be difficult for them to identify an impact transfer between two low-weighted impact categories or between a low-weighted and a highly-weighted impact category.

Finally, it must be stressed that the weighting of the impact categories is relatively unfavorable for organic techniques. Indeed, climate change and terrestrial ecotoxicity are some of the most weighted impact categories whereas some organic management have higher impact on these impacts categories. Considering pesticide applications, this is a considerable limit of weighting and use of LCA in this context. In fact, copper-based fungicides (highly used in organic management) and conventional pesticides cannot be fairly compared with LCA. Emissions from copper-based fungicides applications have high impacts in LCA results on terrestrial ecotoxicity whereas fate and toxicity impacts of metabolites from conventional pesticides are unknown and thus not considered. As a result, impacts of copper-based products applications are often higher than impacts of conventional pesticides applications.

4.4. Relevance of annual TMR scale for eco-design

The eco-design approach at the TMR scale made it possible to identify levers for relevant practice changes. However, some changes in practice have been hindered by the TMR scale. Indeed, some technical choices (the choice of agricultural machinery in particular) are made at the farm scale. It was therefore difficult for participants to overlook organisational or economic barriers about some practices and thus to propose improvements. Moreover, the farm scale also includes the management of non-productive areas which can have a key role in maintaining ecosystem services. Therefore, scaling-up the LCA approach from single field level to farm level could be a complementary approach in order to allow for the inclusion of non-productive areas and move closer to the main decision-making level (Czyrnek-Delêtre et al. 2018). For example, the whole approach could be based on the design of several TMRs of the same farm. Interactions between TMRs within a farm could thus be discussed during the design process.

The interannual variability of viticultural LCA results has been demonstrated (Beauchet et al. 2018; Renaud-Gentié et al. 2018; Vázquez-Rowe et al. 2012). It would be interesting to integrate this discussion into this type of approach. This would provide more information to discuss some choices of practices with long-term agronomic impacts (fertilisation, green manures in particular). Finally, the integration of the oenological itinerary into the process or even the complete life cycle of a bottle of wine could make it possible to identify new ways of reducing impact and identify possible transfers of impacts between grape production and processing.

5. Conclusion

The created tools helped participants to improve the environmental performance of the TMRs studied during the process. They made it possible to guide discussions towards improving the most impactful practices while allowing other practice changes to be integrated. Improving an existing system requires a good understanding of the performance of the initial system. In the proposed approach, the presentation of LCA results should then allow participants to have an overall view of the system's performance while allowing them to engage in a detailed analysis. In the approach presented here, it was decided to present the results by unit operation in order to identify the most impactful ones. While this choice made it easier to involve participants during the workshops, it may have masked some hotspots. Use of LCA results by inventory flows could thus give complementary information in this type of approach.

The manipulation of LCA data in a participatory design process raises questions about the most appropriate format. The "serious game" format chosen made it possible to stimulate discussions between participants while allowing simple data manipulation. The selected eco-design parameters have both reduced environmental impacts and ensured that technical operations are consistent with reality. However, the content of this serious game (i.e. case studies, charts and cards) is to be renewed at each new workshop session due to the choice to base itself on case studies from the group.

The "live" assessment tool for eco-designed TMRs ensured the environmental relevance of the proposed changes and allowed TMRs to be corrected if necessary. The functions of this tool made it possible to ensure continuity with the other tools (same presentation of the results as in the 1st phase of the approach, structure of the tool linked to the "serious game" cards).

The proposed approach and the challenges identified for the creation of the tools seem relevant for transposition to other agricultural production sectors. However, while the annual TMR scale is interesting for engaging farmers in the production process, other scales can help to better integrate certain decision criteria.

Finally, to our knowledge, this work is among the first to show how LCA can be used in a participatory approach with farmers. Apart from some other work (Acosta-Alba et al. 2018; Kulak et al. 2016), participatory processes in LCA approaches are poorly documented in the literature (De Luca et al. 2017). However, the involvement of stakeholders in these approaches can be interesting to raise their awareness of the life cycle approach and their knowledge about consequences of their choices. On the other hand, they can provide information and knowledge and help to better define the systems studied (De Luca et al. 2017).

This work will be pursued with the intention of adapting this type of approach to the farm scale in order to better integrate economic indicators and organizational constraints (Czyrnek-Delêtre et al. 2018).

Acknowledgments: The authors would like to thank winegrowers and extension officers who participated to the workshops, winegrowers who provided data about their viticultural practices and all people who contributed to the preparation and the execution of the workshops. The authors would also like to thank Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME) and Région Pays de la Loire for their financial support.

References

- Acosta-Alba, I.; Andrieu, N.; Chia, E. LCA4CSA: Using life cycle assessment to support co-designing climate-smart smallholder farming systems. In: Rattanawan Mungkung, S.H.G., editor. International Conference on Life Cycle Assessment of Food 2018 (LCA Food). Bangkok, Thaïlande: Life Cycle Assessment; 2018. p. 153-153.
- Andersson, K. LCA of food products and production systems. *The International Journal of Life Cycle Assessment*. 2000;5(4):239-248.
- Barzman, M.; Dachbrodt-Saaydeh, S. Comparative analysis of pesticide action plans in five European countries. *Pest Management Science*. 2011;67(12):1481-1485.
- Beauchet, S. 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.: L'Université Bretagne Loire; 2016.
- Beauchet, S.; Rouault, A.; Thiollet-Scholtus, M.; Renouf, M.; Jourjon, F.; Renaud-Gentié, C. Inter-annual variability in the environmental performance of viticulture technical management routes—a case study in the Middle Loire Valley (France). *The International Journal of Life Cycle Assessment*. 2018 September 20.
- Botreau, R.; Beauchet, S.; Laurent, C.; Hulin, S.; Hérisset, R.; Thiollet-Scholtus, M.; Kanyarushoki, C.; Boucault, P.; Renaud-Gentié, C.; Jourjon, F. Une méthode pour évaluer conjointement performance environnementale et qualité globale des produits—Application aux filières vin et lait. *Innovations agronomiques*. 2018.
- Brentrup, F.; Küsters, J.; Kuhlmann, H.; Lammel, J. Environmental impact assessment of agricultural production systems using the life cycle assessment methodology: I. Theoretical concept of a LCA method tailored to crop production. *European Journal of Agronomy*. 2004 2004/02/01/;20(3):247-264.
- Czyrnek-Delêtre, M.M.; Jourjon, F.; Perrin, A.; Renaud-Gentié, C.; van der Werf, H.M.G. From the field to the farm - scaling up life cycle assessment towards eco-design at farm-level. 11th International Conference on Life Cycle Assessment of Food 2018 (LCA Food). Bangkok, Thaïland; 2018.
- De Luca, A.I.; Iofrida, N.; Leskinen, P.; Stillitano, T.; Falcone, G.; Strano, A.; Gulisano, G. Life cycle tools combined with multi-criteria and participatory methods for agricultural sustainability: Insights from a systematic and critical review. *Science of The Total Environment*. 2017 2017/10/01/;595:352-370.
- Ferrendier, S.; Mathieux, F.; Rebitzer, G.; Simon, M.; Froelich, D. Eco-design Guide: Environmentally Improved Product Design Case Studies of the European Electrical and Electronics Industry. *ECOLIFE Thematic Network*. 2002:21-34.
- Fusi, A.; Guidetti, R.; Benedetto, G. Delving into the environmental aspect of a Sardinian white wine: From partial to total life cycle assessment. *Science of The Total Environment*. 2014 2014/02/15/;472:989-1000.
- Gazulla, C.; Raugei, M.; Fullana-i-Palmer, P. Taking a life cycle look at crianza wine production in Spain: where are the bottlenecks? *The International Journal of Life Cycle Assessment*. 2010;15(4):330-337.

Knight, P.; Jenkins, J.O. Adopting and applying eco-design techniques: a practitioners perspective. *Journal of Cleaner Production*. 2009;17(5):549-558.

Kulak, M.; Nemecek, T.; Frossard, E.; Gaillard, G. Eco-efficiency improvement by using integrative design and life cycle assessment. The case study of alternative bread supply chains in France. *Journal of Cleaner Production*. 2016;112, Part 4:2452-2461.

Lacombe, C.; Couix, N.; Hazard, L. Designing agroecological farming systems with farmers: A review. *Agricultural Systems*. 2018 2018/09/01/;165:208-220.

Le Gal, P.Y.; Dugué, P.; Faure, G.; Novak, S. How does research address the design of innovative agricultural production systems at the farm level? A review. *Agricultural Systems*. 2011;104(9):714-728.

Le Pochat, S.; Bertoluci, G.; Froelich, D. Integrating ecodesign by conducting changes in SMEs. *Journal of Cleaner Production*. 2007 2007/01/01/;15(7):671-680.

Lewandowska, A.; Kurczewski, P. ISO 14062 in theory and practice—ecodesign procedure. Part 1: structure and theory. *The International Journal of Life Cycle Assessment*. 2010 September 01;15(8):769-776.

Lewandowska, A.; Matuszak-Flejszman, A. Eco-design as a normative element of Environmental Management Systems—the context of the revised ISO 14001:2015. *The International Journal of Life Cycle Assessment*. 2014 November 01;19(11):1794-1798.

Mac Millan, T.; Benton, T.G. Agriculture: Engage farmers in research. *Nature*. 2014;509:25-27.

Martin, G.; Martin-Clouaire, R.; Duru, M. Farming system design to feed the changing world. A review. *Agronomy for sustainable development*. 2012;33(1):131-149.

Mathe, S. Integrating participatory approaches into social life cycle assessment: the SLCA participatory approach. *The International Journal of Life Cycle Assessment*. 2014;19(8):1506.

Meynard, J.-M.; Dedieu, B.; Bos, A.P. Re-design and co-design of farming systems. An overview of methods and practices. In: Darnhofer, I.; Gibbon, D.; Dedieu, B., editors, *Farming Systems Research into the 21st Century: The New Dynamic*. Dordrecht: Springer Netherlands; 2012. p. 405-429.

Neto, B.; Dias, A.C.; Machado, M. Life cycle assessment of the supply chain of a Portuguese wine: from viticulture to distribution. *The International Journal of Life Cycle Assessment*. 2013;18(3):590-602.

Penavayre, S.; Lempereur, V.; Huet, A.-P.; Gillet, S.; Pernet, C.; Besnier, A.; Farrant, L.; Jolibert, F. Using Life Cycle Assessment to identify potential environmental impacts of an agrifood sector: Application to the PDO Beaujolais and Burgundia wine sector. *BIO Web Conf*. 2016;7:01009.

Perrin, A.; Rouault, A.; Renaud-Gentié, C.; Renouf, M.; Jourjon, F.; Meynard, J.-M. Ecodesign of agricultural production systems: a review of opportunities and challenges *Journal of Cleaner Production*. in prep.

Petti, L.; Arzoumanidis, I.; Benedetto, G.; Bosco, S.; Cellura, M.; De Camillis, C.; Fantin, V.; Masotti, P.; Pattara, C.; Raggi, A. Life Cycle Assessment in the Wine Sector. *Life Cycle Assessment in the Agri-food Sector*: Springer; 2015. p. 123-184.

Point, E.; Tyedmers, P.; Naugler, C. Life cycle environmental impacts of wine production and consumption in Nova Scotia, Canada. *Journal of Cleaner Production*. 2012;27:11-20.

Rebitzer, G.; Ekvall, T.; Frischknecht, R.; Hunkeler, D.; Norris, G.; Rydberg, T.; Schmidt, W.P.; Suh, S.; Weidema, B.P.; Pennington, D.W. Life cycle assessment: Part 1: Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications. *Environment International*. 2004 2004/07/01;/30(5):701-720.

Renaud-Gentié, C. 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, application aux itinéraires techniques de production de raisins de Chenin blanc pour vins blancs secs d'AOC en Moyenne Vallée de la Loire: Université Nantes-Angers-Le Mans; 2015.

Renaud-Gentié, C.; Dieu, V.; Thiollet-Scholtus, M.; Perrin, A.; Julien, S.; Beauchet, S.; Jourjon, F.; Mérot, A. Addressing organic viticulture environmental burdens by a better understanding of inter-annual and site-related causes of impacts variations. 11th International Conference on Life Cycle Assessment of Food 2018 (LCA Food). Bangkok, Thailand; 2018.

Renouf, M.A.; Poggio, M.; Collier, A.; Price, N.; Schroeder, B.L.; Allsopp, P.G. Customised life cycle assessment tool for sugarcane (CaneLCA)—a development in the evaluation of alternative agricultural practices. *The International Journal of Life Cycle Assessment*. 2018 November 01;23(11):2150-2164.

Renouf, M.A.; Renaud-Gentié, C.; Perrin, A.; van der Werf, H.M.G.; Kanyarushoki, C.; Jourjon, F. Effectiveness criteria for customised agricultural life cycle assessment tools. *Journal of Cleaner Production*. 2017.

Rouault, A.; Beauchet, S.; Renaud-Gentie, C.; Jourjon, F. Life Cycle Assessment of viticultural technical management routes (TMRs): comparison between an organic and an integrated management route. *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin*. 2016 2016-07-27;50(2):77-89.

Rousseaux, P.; Gremy-Gros, C.; Bonnin, M.; Henriel-Ricordel, C.; Bernard, P.; Floury, L.; Staigre, G.; Vincent, P. "Eco-tool-seeker": A new and unique business guide for choosing ecodesign tools. *Journal of Cleaner Production*. 2017;151:546-577.

Roy, P.; Nei, D.; Orikasa, T.; Xu, Q.; Okadome, H.; Nakamura, N.; Shiina, T. A review of life cycle assessment (LCA) on some food products. *Journal of food engineering*. 2009;90(1):1-10.

Rugani, B.; Vázquez-Rowe, I.; Benedetto, G.; Benetto, E. A comprehensive review of carbon footprint analysis as an extended environmental indicator in the wine sector. *Journal of Cleaner Production*. 2013;54:61-77.

Vázquez-Rowe, I.; Villanueva-Rey, P.; Moreira, M.T.; Feijoo, G. Environmental analysis of Ribeiro wine from a timeline perspective: Harvest year matters when reporting environmental impacts. *Journal of Environmental Management*. 2012;98:73-83.

Villanueva-Rey, P.; Vázquez-Rowe, I.; Moreira, M.T.; Feijoo, G. Comparative life cycle assessment in the wine sector: biodynamic vs. conventional viticulture activities in NW Spain. *Journal of Cleaner Production*. 2014;65:330-341.

Supplementary material

S-I) Some methodological details on the application of LCA to viticulture

Production and transport of inputs

Production and transport (from production site to regional storage) of pesticides was included thanks to Ecoinvent 2.2 database. Transport from regional storage to farm was not included.

Production and transport of machinery and mineral fertilisers (from production site to regional storage) were taken from Agribalyse V1.1 database. Concerning organic fertilisers, production and transport were not included in the Agribalyse V1.1 database, which contains dummy processes for this type of fertilisers. However, we included transport from regional supplier to farm thanks to Ecoinvent 2.2 database (using the following process: “Transport, lorry 7.5-16t, EURO5/RER U”) and based on Nitrogen content of the product (“as N” process) and considered a 30 km roundtrip between supplier and supplied farm.

On-field emissions

Table 12 : Emission models used in the study to calculate on-field emissions (Rouault et al., 2016).

Modelled phenomenon [Unit]	Bibliographic Reference
Erosion [kg of eroded soil/year]	RUSLE (Foster, 2005)
Phosphorus emissions [kg P/ha]	SALCA-P (Nemecek et al., 2007)
Nitrates emissions [kg N/ha]	SQCB (Faist-Emmenegger et al., 2009)
Ammonia emissions to air [kg NH ₃ /ha]	Tier2 approach (Hutchings et al., 2013)
Nitrogen oxides and nitrogen dioxide emissions [kg NO _x (ou N ₂ O)/ha]	Ecoinvent (Nemecek and Schnetzer, 2011)
Heavy metal emissions [g HM/ha]	SALCA-ETM (Freiermuth, 2006)
Volatile Organic Compounds, Nitrogen oxides and carbon monoxide emissions from fuel combustion [g/h]	Ecoinvent (Nemecek et al., 2007)
Active substances emissions from pesticides [kg/ha]	PestLCI 2.06 (Renaud-Gentié et al., 2014)

Selected impact categories

Ionising radiation, Urban land occupation and Natural land transformation were excluded because they were not considered as important environmental issues for vineyard management. Due to missing characterization factors concerning several active ingredients used in viticulture and due to uncertainty related to this impact category, we chose not to include human toxicity although there are lots of concerns about pesticide impacts on human health in viticulture.

S-2) LCA Results of initial TMRs from 1st and 2nd session

- TMR1_S1

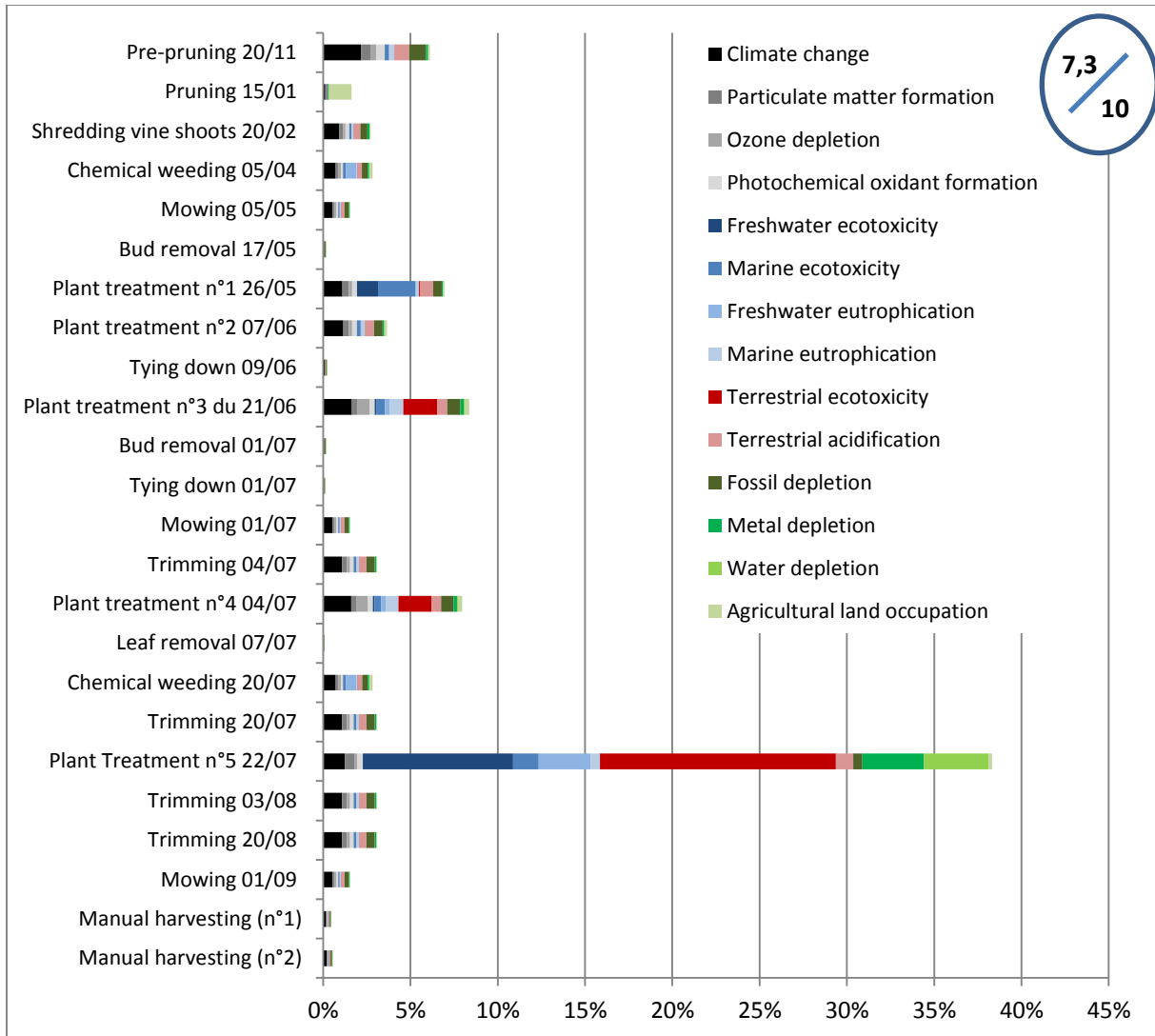


Figure 14 : Environmental results of TMR1_S1 (from the 1st session of workshops).

• TMR2_S1

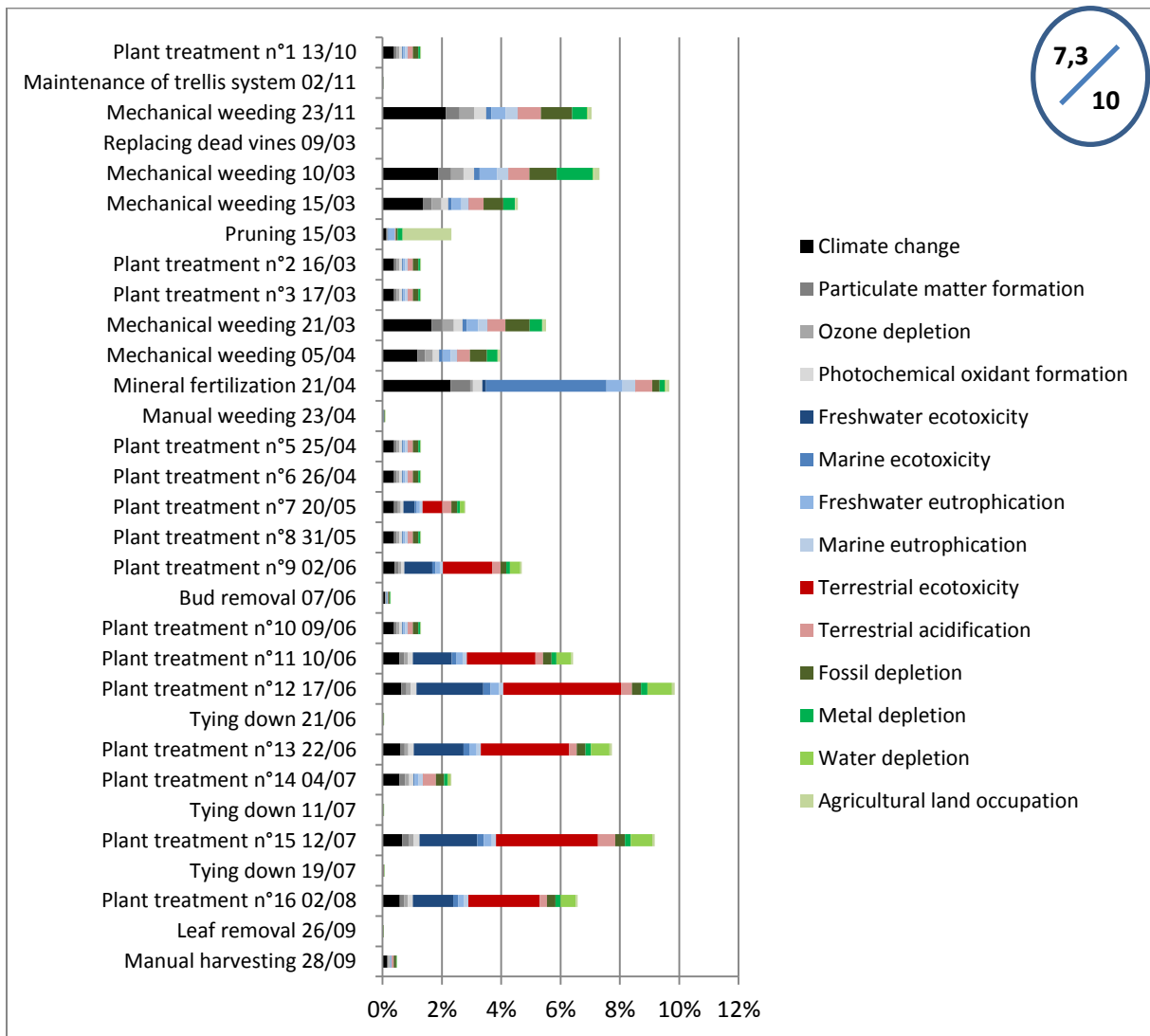


Figure 15 : Environmental results of TMR2_S1 (from the 1st session of workshops).

• TMR 2_S2

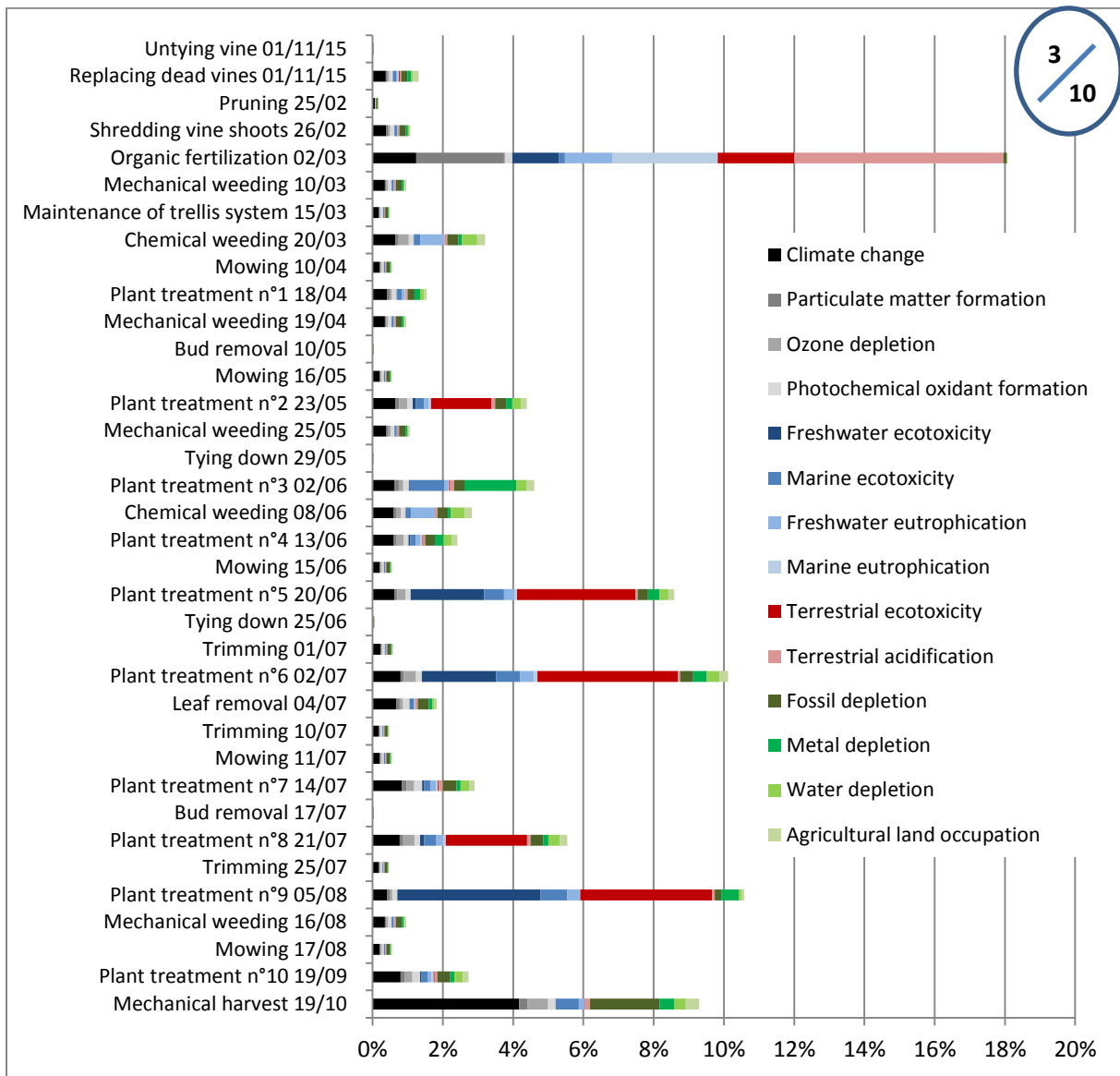


Figure 16 : Environmental results of TMR2_S2 (from the 2nd session of workshops).

- TMR3_S2

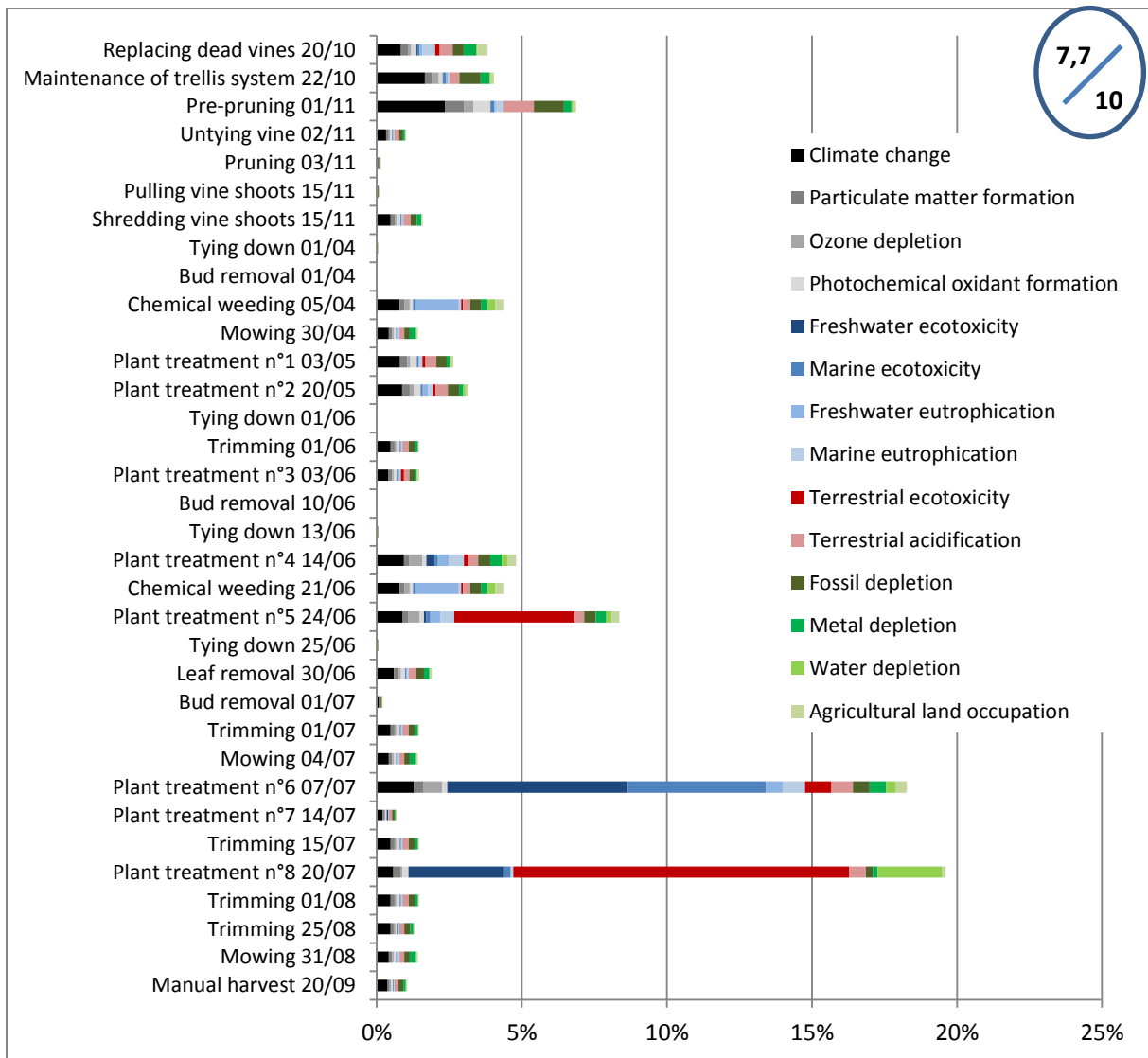


Figure 17 : Environmental results of TMR3_S2 (from the 2nd session of workshops).

CHAPITRE 3 : MISE EN PLACE D'UNE DEMARCHE PARTICIPATIVE D'ECO-QUALI-CONCEPTION® D'ITINERAIRES TECHNIQUES VITICOLES

Avant-propos	81
Proposition	82
1. Introduction.....	82
2. Material & Methods.....	84
2.1. Structure and content of the participatory ecodesign process.....	84
2.2. Role of case studies during the workshops.....	87
2.3. Eco-design tools.....	87
2.4. Analysis of the design process.....	88
3. Results.....	90
3.1. Overview of the workshops participation.....	90
3.2. Main environmental hotspots.....	90
3.3. Most discussed operations during the workshops and environmental performance of eco-designed TMRs.....	93
3.4. Participants' feedback.....	95
3.4.1. Feasibility of the eco-designed TMRs.....	95
3.4.2. Workshop process: strengths and suggestions for improvement.....	97
4. Discussion.....	99
4.1. Contribution of the proposed approach to environmental issues in viticulture.....	99
4.2. Contribution of the proposed approach to practice change of participants.....	100
5. Conclusion.....	101
Supplementary	102
Atelier Qualité	111
1. Introduction.....	111
2. Matériel et méthodes.....	112
2.1. Identification des pratiques les plus influentes sur la qualité.....	112
2.2. Evaluation de l'impact du changement de pratique sur la qualité du raisin produit.....	114
3. Résultats.....	115
3.1. Métaplans guidés et pratiques les plus influents sur la qualité du raisin.....	115
3.2. Evaluation de l'impact du changement de pratiques envisagé à l'atelier 2 sur le potentiel de qualité du raisin.....	118

4. Discussion	118
5. Conclusion	119
Références	120

Avant-propos

La deuxième question de recherche de ces travaux de thèse vise à proposer et analyser une démarche d'éco-quali-conception® d'itinéraires techniques viticoles.

Ce chapitre présente et analyse donc la démarche globale qui a été développée et appliquée à deux groupes de viticulteurs engagés dans la démarche Déphy de réduction de l'utilisation des produits phytosanitaires. Cette présentation se fait en deux temps. Tout d'abord, la mise en place d'une démarche participative d'éco-conception est décrite et analysée sous la forme d'un article (en anglais) qui sera soumis à *Agronomy for Sustainable Development*. Dans un deuxième temps, l'intégration de la dimension supplémentaire sur la qualité du raisin (qui a été abordée dans un atelier supplémentaire lors de l'application de la démarche d'éco-conception avec un des deux groupes) est présentée et analysée sous la forme d'un article (qui ne sera, quant à lui, pas soumis pour publication).

Proposition of a participatory and LCA-based ecodesign approach to assist farmers in their practice change : The case study of vineyard management in the Loire Valley (France).

Anthony Rouault^{1,2}, Aurélie Perrin¹, Christel Renaud-Gentié¹, Séverine Julien¹, Frédérique Jourjon¹

A soumettre à Agronomy for Sustainable Development

¹USC 1422 GRAPPE, Univ. Bretagne Loire, Ecole Supérieure d'Agricultures (ESA)-INRA, SFR 4207 QUASAV, 55 rue Rabelais, 49007 Angers, France.

²ADEME, Service Foret, Alimentation, Bioéconomie, 20 Avenue du Grésillé, 49000 Angers, France

1. Introduction

Over the last decade, numerous approaches to the design of innovative agricultural systems have been proposed to address new challenges agriculture is facing (Lacombe et al. 2018; Le Gal et al. 2011; Martin et al. 2012). According to Meynard et al. (2012), there is a need for innovative design processes that should include “new additional objectives” (e.g. internalisation of environmental and social issues) and a “revision of evaluation methods and criteria”. Many of the farming system design research works include a well-defined environmental objective or an environmental assessment (Martin et al., 2011; Reau et al., 2012) but none uses the principles of eco-design.

Mainly applied in industries, eco-design aims at integrating environmental aspects into product design and development processes (ISO 2002). Moreover, eco-design aims to reduce adverse environmental impacts throughout product’s life cycle (ISO 2002). Many different tools are used to help environmental impact reduction in eco-design approaches (Knight and Jenkins, 2009; Rousseaux et al., 2017). Among them, Life Cycle Assessment (LCA) is a relevant one because of its lifecycle perspective and multi-criteria approach of environmental issues (ISO 2006a). Its application to agricultural systems (Bessou et al. 2013; Payraudeau and van der Werf 2005) and more specifically to vineyard management (Balafoutis et al. 2017; Beauchet et al. 2018; Rouault et al. 2016; Vázquez-Rowe et al. 2012; Villanueva-Rey et al. 2014) has been the subject of considerable effort over the past two decades but little attention has been paid to its use for eco-design purposes. As it brings new criteria to the design of agricultural system, LCA-based eco-design can address the need for innovative design processes.

Many authors stressed the importance of changing the way farmers are involved in innovation processes. Indeed, farmers cannot be considered as simple users of agricultural innovations. They are practical experimentalists who adapt innovations to their different situations. Their local knowledge enables a better adaptation of innovations to local conditions and constraints (Mac Millan and Benton, 2016; Meynard et al., 2012). Thus, participation of farmers in innovation processes should enable a better consideration of their decision-making process and adoption of innovations could be more efficient (Le Gal et al., 2011)., Kulak et al. (2016) tested an integrative design approach based on LCA results from two different bread supply chains involving experts and farmers in two distinct phases. During a design workshop and based on LCA results, a group of experts proposed strategies to reduce environmental impacts. After the workshop, semi-structured interviews with farmers showed that farmers were not willing to adopt strategies proposed by experts. Authors suggest that involving farmers and experts in collaborative workshops could improve the effectiveness of the process. One of the main difficulties to do collaborative workshops is the complexity of evaluation

tools proposed to participants. In industries, simplified tools are often preferred to LCA (Knight and Jenkins, 2009). We addressed this difficulty in a previous paper and proposed eco-design tools adapted to a workshop situation (Rouault et al., in prep).

Since many years, viticulture is facing important challenges regarding environmental issues (e.g. reduction of pesticides use, mitigation of climate change). Winegrowers need to integrate those issues to improve the environmental performances of their vineyard management systems while producing quality wine, especially in PDO context.

With a focus on viticultural Technical Management Routes (TMRs) and based on the LCA framework proposed by Renaud-Gentié (2015), we developed a participatory LCA-based eco-design approach with winegrowers and extension officers in the Loire Valley area. A TMR is defined as a logical succession of technical options designed by the farmers for a given production objective (Sebillotte, 1974). We applied this approach to two groups of winegrowers during 5 workshops organised between 2016 and 2017. The objective of the paper is to: i) analyze how the proposed approach addressed the environmental issues of viticulture; ii) analyze how the proposed approach contributed to practice change in viticulture and iii) identify levers and barriers for practice change in viticulture. First, the content of the proposed eco-design approach is detailed. Then, the results of workshops, the design strategies adopted by winegrowers and their feedback on the workshops will be described and discussed regarding the objectives of the paper.

2. Material & Methods

2.1. Structure and content of the participatory ecodesign process

The main objective of the proposed approach is to support farmers in the eco-design of a TMR. Two phases in the design process have been defined in order to build the workshops: A) generation of alternative operations that address main hotspots of the TMR; B) collective design of a new and eco-designed TMR based on both initial and alternative operations. During phase A, researchers were ensuring a good understanding of the case studies and LCA results by participants and helping them identifying alternative operations. During phase B, environmental performances of the alternative operations proposed during the previous phase were available to the participants. Based on these information and with the support of researchers and eco-design tools, they could redesign the initial TMR. The objective was to work with the “case study” winegrower and design a new TMR satisfying its own criteria as well as being more environmentally-friendly.

Two sessions of workshops have been implemented with two different groups of winegrowers. Both groups are “Déphy” groups, which were implemented in the frame of the French national plan for reduction of pesticides use (i.e. Ecophyto 2018). Both groups were existing before starting the workshops. They were formed by extension services and are usually facilitated by an extension officer. In the first group, the winegrowers are independent and don't have a shared professional structure. In the second group, all the winegrowers are members of the same wine-making cooperative.

During the workshops, the extension officer held the role of viticulture expert or facilitator whereas researchers (who are both LCA experts and agronomists) held the role of environmental experts, group facilitators or observers. Each session was structured in three 3 hours long workshops.

Table 3 and Table 4 summarize the content of all the workshops from both sessions. The first session of workshops was organised from September 2016 to March 2017 and the second one from November 2017 to March 2018. After the first session, the content of the workshops was improved for the second session. Objectives of the phase A could be achieved in only one workshop instead of two for the first session. As a result, a third phase (C) dedicated to “grape quality” was integrated to the second session, during which the potential impacts of practice change on grape quality were assessed. This workshop will not be discussed in this article which focus on ecodesign.

Table 13 : Detailed content of the 1st session of workshops.

In *italics*, elements of the 1st session of workshops which have been removed in the 2nd session.

PHASE A		PHASE B
Workshop 1	Workshop 2	Workshop 3
<p><i>Aim:</i> Introducing the proposed approach and LCA principles.</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Step 1:</i> Use of Métaplan Technique (Schnelle 1979) for the following question: « What are the most important criteria for a satisfactory TMR? » • • <i>Step 2:</i> Use of Métaplan Technique (Schnelle, 1979) for the following question: « What are the most important criteria for a satisfactory TMR on an environmental level? » • <i>Step 3:</i> Powerpoint presentation about LCA methodology and LCA results of a TMR. 	<p><i>Aim:</i> Understanding environmental impacts of a TMR in order to generate alternative operations</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Step 1:</i> Introducing the available materials for the workshop: the TMR and its environmental results (based on LCA) are displayed on an A3 format on each table. • <i>Step 2:</i> Group works. Each sub-group works on a different TMR case study. Environmental results are commented by the sub-group's facilitator and the "case study" winegrower. Participants ("case study" winegrower included) propose alternative operations that could reduce TMR's environmental impacts. • <i>Step 3:</i> Content of the group works' discussions are reported by a member of each sub-group to the whole group. 	<p><i>Aim:</i> Designing an alternative TMR with improved environmental performances.</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Step 1:</i> Powerpoint presentation of environmental results of the alternative operations proposed by the participants during the 2nd workshop. • <i>Step 2:</i> Group works. Each sub-group works on a different case study. A board game representing the cultural year and cards representing the unit operations allow participants to design a TMR. • <i>Step 3:</i> Content of the group works' discussions are reported by a member of each sub-group to the whole group.

Table 14 : Detailed content of the 2nd session of workshops.

In **bold type**, elements of the 2nd session of workshops that have been added after the 1st session.

PHASE A	PHASE B	PHASE C
Workshop 1	Workshop 2	Workshop 3
<p><u>Aim</u> : Understanding environmental impacts of a TMR in order to generate alternative operations</p> <ul style="list-style-type: none"> • <u>Step 1</u>: Use of Métaplan Technique (Schnelle 1979) for the following question: « What are the most important criteria for a satisfactory TMR on an environmental level? » • <u>Step 2</u> : Short introduction to LCA (powerpoint presentation) • <u>Step 3</u>: Group works. Each sub-group works on a different TMR case study. The TMR and its environmental results (based on LCA) are displayed on an A3 format on each table and are commented by the sub-group’s facilitator and the “case study” winegrower. With these elements, participants (“case study” winegrower included) propose alternative operations or remove unnecessary operations in order to reduce TMR’s environmental impacts. • <u>Step 4</u>: Content of the group works’ discussions are reported by a member of each sub-group to the whole group. 	<p><u>Aim</u>: Designing an alternative TMR with improved environmental performances.</p> <ul style="list-style-type: none"> • <u>Step 1</u>: Powerpoint presentation of environmental results of the alternative operations proposed by the participants during the 1st workshop. • <u>Step 2</u>: Group works. Each sub-group works on a different case study. A board game representing the vintage and cards representing unit operations allow participants to design a TMR in the pedoclimatic context of the initial one. • <u>Step 3</u>: Content of the group works’ discussions are reported by a member of each sub-group to the whole group. 	<p><u>Aim</u>: Assessing the potential impact of the transition to eco-designed TMR on grape quality.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Step 1: 3 Métaplans (Schnelle 1979) are done in parallel to elicitate participants’ knowledge about the link between 3 grape quality indicators (Phenological ripeness, Technological ripeness, Grape’s health). • Step 2: Content of the discussions for each Métaplan is reported to the whole group by each facilitator. Then, the whole group ranks operations for each grape quality indicator depending on their influence on it. • Step 3: Based on the previous discussions and on the material created during the workshop, the whole group assesses the potential impact of the TMRs on grape quality.

2.2. Role of case studies during the workshops

During the workshops, group works were giving the tempo. Each group worked on a different case study from a winegrower of the group. Thus, the “case study” winegrower could give information about the local context of the plot (e.g. soil and climate conditions for the studied year, available machinery and number of employees, etc.). Case studies were TMRs implemented during 2016 vintage.

During phase A, the following information about each case study were available to participants:

- Technical details about unit operations from the initial TMRs. For each unit operation, type of machinery used, duration of the operation, name and dose of the inputs used (fertilisers, pesticides, etc.) and fuel consumptions
- context of the plot: pedo-climatic conditions for 2016 vintage and production targets (e.g. type of wine produced from grapes of the plot)
- LCA results of the initial TMRs

During phase B, the following information was available to the participants for each case study:

- Elements available during phase A,
- Technical details about alternative operations proposed during phase A,
- A booklet containing comparisons of LCA results between the main initial hotspots and the alternative operations proposed in phase A.

Characteristics and details about the case studies can be found in Rouault et al., in prep.

2.3. Eco-design tools

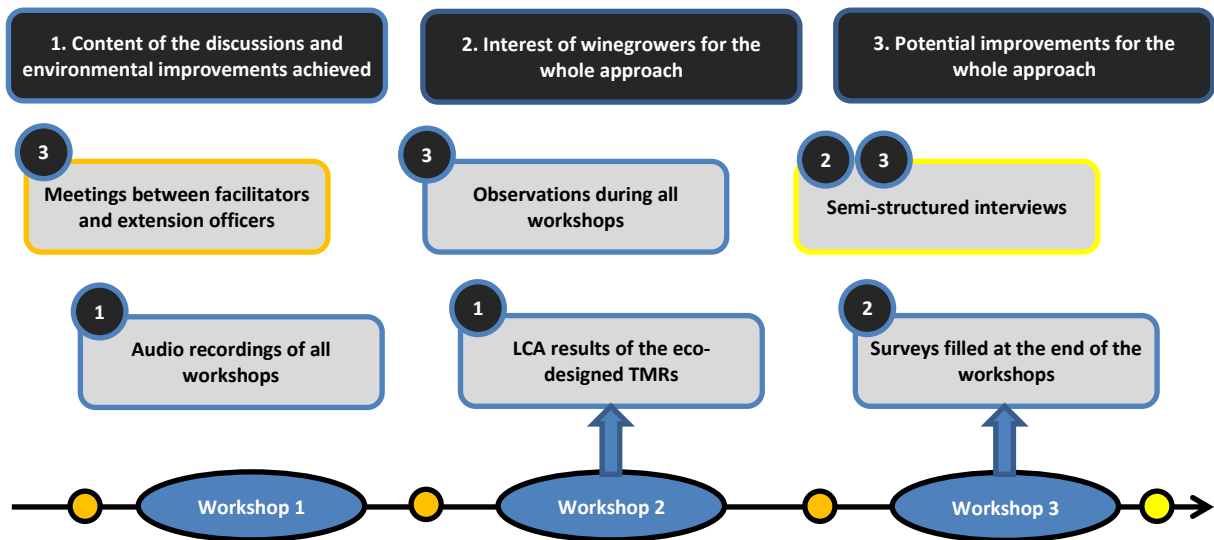
During the workshops, different type of information about the case studies could be manipulated by the participants through different eco-design tools :LCA results of the case studies, list of unit operations and data concerning these operations.

During phase A, the main tool to help participants generate alternative solutions was a graph of LCA results presented in a specific format to ease the identification of hotspots. This graph shows the contribution of each operation of the TMR to the total aggregated impact of the TMR.

During phase B of the sessions, group works were facilitated thanks to a serious game. This serious game is composed of three elements: a game board, cards and a “live” LCA tool. Cards representing unit operations were used to build the TMR on the game board. Parameters were available on the cards. Those parameters could be adjusted. The “live” LCA tool enabled instant calculation of the LCA results of the TMR built by participants. Results can be adjusted for each unit operation considering the following parameters: speed of the tractor, duration of the operation, fuel consumption, doses and recycling rate (when recycling tunnel is used). All of these elements and their role in the approach are further described and discussed in a specific paper (Rouault et al., in prep).

2.4. Analysis of the design process

The analysis of the design process pursued the following objectives (see Figure 18) : (i) identifying which type of operations were the most discussed during the workshops, which elements of these



operations were discussed and which environmental improvement have been achieved for the most discussed operations. ; (ii) identifying the interest of winegrowers for the proposed approach ; (iii) identifying potential improvements for the eco-design process.

Figure 18 : Timeline and elements of the analysis of the design process

The audio recordings were analysed using a content analysis grid (see S-A in supplementary material) that captured the order of the topics covered during the group work. For each of these subjects, the analysis grid made it possible to identify the following elements:

- the type of operation to which the subject refers
- the time spent on the subject
- related topics discussed during the discussion
- the polluting subjects
- the starting point for the discussion
- did the discussion lead to a solution?
- If the discussion did not lead to a solution, what is the reason for not reaching a solution?

The questionnaires (see S-B in supplementary material) filled at the end of the session contained 25 questions divided into the following 7 categories:

- New knowledge acquired by participants
- Impact of the workshops on the practice change process
- Interest and effectiveness of the workshops' content
- LCA's relevance in assessing wine-making practices
- Value of eco-designed TMRs
- Satisfaction and dissemination of the approach

- Suggestions for improvement

Finally, during the semi-directive interviews (see S-C in supplementary for details), 6 topics were discussed successively:

- Feasibility of eco-designed TMRs
- Opinion on the conduct of the workshops
- LCA's relevance for assessing viticultural practices
- Review of the approach and impact on practice change
- Dissemination of the approach within local and regional networks
- Participation in other design workshops.

These interviews were scheduled to last approximately one hour and took place four months after the end of the workshops.

3. Results

3.1. Overview of the workshops participation

Table 15 : Composition of the 2 groups, number of participants, number of case studies per session and time between workshops.

Session	Session 1			Session 2	
Composition of the group	13 winegrowers + 1 extension officer			13 winegrowers + 3 extension officers	
Phase	A		B	A	B
Workshop	Workshop 1	Workshop 2	Workshop 3	Workshop 1	Workshop 2
Number of participants	6 winegrowers + 1 extension officer	4 + 1 extension officer	3 + 1 extension officer	8 + 3 extension officers	9 + 3 extension officers
Number of case study	N/A	2	2	3	3
Presence of « case study winegrowers »	<input checked="" type="checkbox"/> TMR 1 <input type="checkbox"/> TMR 2	<input checked="" type="checkbox"/> TMR 1 <input type="checkbox"/> TMR 2	<input checked="" type="checkbox"/> TMR 1 <input type="checkbox"/> TMR 2	<input checked="" type="checkbox"/> TMR 1 <input checked="" type="checkbox"/> TMR 2 <input type="checkbox"/> TMR 3	<input type="checkbox"/> TMR 1 <input checked="" type="checkbox"/> TMR 2 <input checked="" type="checkbox"/> TMR 3
Time elapsed between workshops	W1 to W2 : 17 weeks W2 to W3 : 12 weeks			W1 to W2 : 5 weeks	

Concerning participation, we can observe a higher participation rate of the group during the 2nd session (Table 15). This higher participation can be explained by the greater availability of the winegrowers in this group. Unlike the winegrowers of the 1st session, the winegrowers of the 2nd session are all members of the same cooperative winery. For the majority, they do not make any or very little wine from the grapes they produce. They therefore have less workload (related to winemaking and marketing) in the post-harvest period. The higher participation in the 2nd group can also be explained by the fact that the participation of winegrowers in group meetings is taken into account in the calculation of their income.

Despite the positioning of the workshops in the post-harvest period (from September-October to March of the following year), which is theoretically less intense in terms of workload, the mobilization of winegrowers was one of the difficulties in the implementation of the approach. Some workshops had to be postponed: workshops 2 and 3 of the 1st session. Moreover, the presence of all the "case study" winegrowers could not be ensured for any workshop.

3.2. Main environmental hotspots

Single operations were usually identified as hotspots when their contribution to the overall impact of the TMR was above 5%. Hotspots identified and their occurrence in environmental results of all TMRs explored during both sessions of workshops are shown in Table 16.

Table 16 : Types of operations considered as hotspots for each TMR and their occurrence. The unit operations are grouped according to their function in the TMR and according to the different modalities found in the case studies.

Example: For TMR1_S1, 4 (out of 5) fungicides applications contributed to more than 5% of the aggregated environmental impact of the TMR. For 1 out of these 4 fungicides applications, emissions from copper-based products are the main contribution to the fungicides application’s impacts.

Category of operations	Technical options	TMR1_S1	TMR2_S1	TMR1_S2	TMR2_S2	TMR3_S2
Fungicides applications (including copper-based products applications)		4/5 (1/1)	5/15 (5/7)	5/8 (2/2)	4/10 (3/3)	3/8 (1/1)
Grass management	Mechanical weeding	∅	3/5	0/5	0/4	∅
	Chemical weeding	0/2	∅	0/2	0/2	0/2
	Mowing	0/3	∅	0/3	0/5	0/3
Fertilisation	Mineral fertilisation	∅	∅	∅	∅	∅
	Organic fertilisation	∅	∅	1/1	1/1	∅
	Soil enrichment (Mg, Ca, etc.)	∅	1/1	∅	∅	∅
Harvest	Mechanical harvest	∅	∅	1/1	1/1	∅
	Manual harvest	0/2	0/1	∅	∅	0/1
Trimming		0/4	∅	0/2	0/3	0/5
Other mechanical operations (e.g. pre-pruning, shredding vine shoots, leaf removal)		1/2	∅	0/2	0/4	1/5
Other manual operations (e.g. pruning, tying down, bud removal, leaf removal)		0/6	0/8	0/7	0/6	0/10
Total of "hotspots" operations		5/24	9/30	7/31	6/36	4/34

Fungicide applications are important hotspots for the 5 case studies. This can be explained by the impact of emissions of some active ingredients on aquatic ecotoxicity (fresh and marine waters) and terrestrial ecotoxicity. Copper applications are particularly concerned since all copper applications were identified as hotspots in 4 of the 5 cases studied, mainly due to copper's impact on terrestrial ecotoxicity. The use of folpel and metiram also has a strong impact on aquatic ecotoxicity (fresh waters).

When there is fertilisation, it has a significant impact (TMR2_S1, TMR1_S2 and TMR2_S2). This impact is in all cases related to the product used. In the TMR2_S1 case, the impact is mainly related to the impacts during the production of the product used (i.e. kieserite). The reliability of this result is however to be questioned because the kieserite production process does not exist in the existing LCI databases and a proxy had to be made. In the other two cases, an organic product is used. This type of product contains nitrogenous elements and emits NH₃, which has an impact on particle formation, marine eutrophication and terrestrial acidification. However, the emission model used to calculate NH₃ emissions may not be accurate as it only considers application rate, Total Ammonia Nitrogen content and emissions factor depending on the type of fertiliser used.

Mechanical weeding, mechanical harvesting and pre-pruning are frequent hotspots due to their high fuel consumption. This consumption contributes mainly to climate change and the depletion of fossil resources.

The analysis of hotspots by unit operation has its limits. Indeed, the contribution of an operation to the total impact of a TMR also depends on the total number of operations for that TMR. The repetition of operations that do not contribute much can also be considered as impacting. One of the areas of environmental improvement identified was therefore the reduction in the number of operations (particularly mechanized operations such as trimming and mowing).

3.3. Most discussed operations during the workshops and environmental performance of eco-designed TMRs

Table 17 summarizes the content of the discussions during the group work in the workshops. It thus shows which operations were the subject of the longest discussions during the two phases of group work.

Table 17 : Ranking of the most discussed operations for each group work phases during the workshops.

¹ Phase A = “Generation of alternatives” phase (2nd workshop in 1st session, 1st workshop in 2nd session)

² Phase B = “Eco-design of the TMR” phase (3rd workshop in 1st session, 2nd workshop in 2nd session)

Case study Phase of the workshops	TMR1_S1		TMR2_S1		TMR1_S2		TMR2_S2		TMR3_S2	
	A ¹	B ²	A ¹	B ²	A ¹	B ²	A ¹	B ²	A ¹	B ²
Pesticides applications	1 st	1 st	1 st	1 st	1 st	2 nd	1 st	1 st	1 st	2 nd
Grass management	2 nd	3 rd	2 nd	2 nd	2 nd	1 st	5 th	3 rd	3 rd	1 st
Reduction of fuel consumption	N/A	2 nd	N/A	3 rd	3 rd	N/A	2 nd	4 th	2 nd	3 rd
Fertilisation	3 rd	5 th	3 rd	4 th	5 th	4 th	4 th	2 nd	4 th	N/A
Prophylactic operations	4 th	N/A	4 th	N/A	6 th	N/A	N/A	N/A	6 th	N/A
Manual operations	N/A	4 th	5 th	5 th	N/A	3 rd	7 th	6 th	N/A	N/A
Harvest	N/A	6 th	N/A	6 th	7 th	6 th	3 rd	5 th	N/A	N/A
Others	N/A	N/A	N/A	N/A	4 th	5 th	6 th	N/A	5 th	N/A

Pesticide applications were the most discussed operations during the workshops. During phase A, the discussions mainly consisted in identifying the most impactful substances and considering possible substitutes and appropriate doses. There was also a lot of discussion on the implementation of recycling tunnel sprayers and the definition of the expected recovery rate for each treatment. Many questions were also asked about the impact of copper-based products. (The impact of these products was rather unexpected for winegrowers.). However, participants chose in most cases to maintain copper-based applications while reducing doses or using recycling tunnel sprayers. This could be explained either by the fact that they have been noticed by the facilitators about the likely overestimation of copper impacts in agricultural LCA studies (Peña et al. 2017; Viveros Santos et al. 2018) either by the technical interest of winegrowers for using copper in the last pesticide application before harvesting.

As a result of phase B, the main strategy was to replace CMR (Carcinogenic, Mutagenic, Reprotoxic) products and active ingredients with a high environmental impact and to systematically install recycling panels on the most impactful treatments. This strategy was applied for 3 of the 5 case studies (TMR1_S1, TMR1_S2 and TMR2_S2). For TMR2_S1, as it is a biodynamic TMR, the replacement of copper has not been adopted but the recycling panels have been implemented for all copper treatments. Finally, for the TMR3_S2, the "case study" winegrower did not want to use the recycling tunnel due to economic reasons (limited investment capacity) but only replaced the active ingredients with a high environmental impact (metiram and folpet).

The weed management has also been the subject of many discussions whereas it was not a frequent hotspot. This can be explained by the current debate in France and Europe about the ban of certain herbicides (especially glyphosate) and the promotion of their alternatives (mechanical weeding,

green manure,...). All case studies have at least one row out of two grassed while (mechanical or chemical) weeding is done under the vine row. The discussions therefore focused mainly on: the installation of a green manure on the row that is not grassed, the replacement of chemical weeding under the vine row or the reduction of herbicide doses, the optimization of mechanical weeding and finally, the reduction of the number of grass mowings. During phase B, the strategies were different between the two sessions on this subject. In the 2nd session, green manure was introduced on the grass-free inter-row for all TMRs. This strategy has reduced the use of herbicides to weed control under the vine row (TMR2_S2 and TMR3_S2) or eliminated it in favour of mechanical weed control under the vine row (TMR1_S2). In some cases, some mowing operations have been deleted or coupled with trimming (TMR1_S2 and TMR3_S2). In the 1st session, the implementation of green manure was not discussed at all and few changes were made concerning grass management. For TMR1_S1, only one mowing operation was coupled to a trimming operation. For the TMR2_S1 study case, no herbicides were used. Instead, the strategy was to reduce the number of passes for mechanical weeding.

Discussions on reducing fuel consumption mainly concerned pre-pruning, pruning, shredding of shoots, trimming and mowing. Two strategies were discussed on this topic: reducing the number of operations and reducing the consumption of an operation. The reduction in the number of operations was achieved through two types of solutions: the removal of operations considered unnecessary, and the combination of operations. The combination of trimming and mowing operations has been a widely accepted solution to reduce the number of operations. Thus, the combination of these two operations was discussed in all groups and implemented in 3 of the 5 case studies (TMR1_S1, TMR1_S2 and TMR3_S2). The removal of operations considered unnecessary mainly concerned trimming and mowing as well as certain insecticide treatments. Concerning the reduction of fuel consumption of individual operations, the use of a fuel-efficient tractor model was adopted for some operations for 2 case studies (TMR2_S1 and TMR1_S2). The use of robots for mechanical weeding under the vine row has been discussed and tested for two case studies (TMR1_S1 and TMR1_S2).

Discussions on fertilisation focused mainly on replacing the applied product with a less impactful product and on the implementation of green manures. Product replacement was only performed in one case (TMR2_S2). In the other two cases (TMR2_S1 and TMR1_S2), in the absence of the "case study" winegrower, the participants considered that the dose and type of product were justified and therefore did not wish to modify them. As said previously, the implementation of a green manure was discussed only in the 2nd workshop session and was carried out on all the case studies. This group showed a strong interest in this practice while identifying a lack of knowledge about it. Moreover, the implementation of this practice did not justify the removal of fertiliser application. According to the participants, fertiliser application is still necessary in the first years of green manure application.

Few agronomic interactions between operations were discussed during the workshops: the interaction between fertilisation and green manure and the one between (mechanical or chemical) weeding of inter-rows and trimming operations has been also discussed. Although these interactions were identified by the participants, they could not be taken into account due to a lack of knowledge. For example, no trimming operations have been voluntarily removed based on the assumption that the grassing of an additional row could reduce the vigour of the vine even if the interaction has been

acknowledged by the group. Predicting the vigour of the vine according to the grass cover is multi-factorial and therefore difficult to anticipate precisely.

Table 18 : Percentage of aggregated impact reduction for all case studies

	TMR1_S1	TMR2_S1	TMR1_S2	TMR2_S2	TMR3_S2
% of aggregated impact reduction compared to initial TMR	- 61%	- 27%	- 27%	- 21%	+ 0,2%

Environmental performance has been considerably improved for 4 case studies (Table 18). For winegrowers who are already in a progress-oriented approach, it would seem that ecodesign would reduce the environmental impact of an ITK by around 20%. Absence of improvement for TMR3_S2 is explained by the fact that only 2 of the 4 hotspots identified have not been revised and that the proposed alternatives have not allowed a significant improvement. Those hotspots were not revised mainly because of the objectives and preferences of the “case study winegrower”. For example, implementing recycling tunnel was not desirable because he didn’t have sufficient capacity for investment in such expensive equipment. Investment in equipment for implementation of green manure seemed more acceptable for him.

3.4. Participants’ feedback

3.4.1. Feasibility of the eco-designed TMRs

The TMRs designed during the workshops are perceived by all workshop participants as feasible in a near future. Thus, in the “Efficiency Substitution Redesign” (ESR) scheme (Hill and MacRae 1996) participants describe the approach as an efficiency and substitution approach and very little as a redesign approach.

Nevertheless, some barriers have been identified for some operations. First of all, the barriers can be economical. Some operations will indeed require very expensive equipment (e.g recycling tunnel sprayers). The increase in working time and therefore in the cost of the operation is a second economic barrier identified by the participants. The barriers can also be about the way work is organised. Increasing working time can be an organisational constraint. Indeed, during peak activity periods, the increase in working time can come into tension with the available labour time. This can also lead to constraints on machine availability. Finally, additional skills and training may be required for some operations.

Table 19 summarizes the main barriers that have been identified for the implementation of each of the alternative operations selected in the eco-designed TMRs.

Table 19 : Main constraints identified by participants regarding the various changes in practices considered.

(" + " : high constraints," - " : limited constraints)

Type of barrier	Economical		Organisation of work			Others
	Investment in new equipment	Cost of the operation	Available labor time	Additional skill requiremets	Availability of machinery	
Combination of two operations	+	-	-	+	-	Adaptation of machinery to different row widths
Use of recycling tunnel sprayers	+++	+	+	+	+	
Use of robots	+++		-	+		
Implementation of green manure	++		+	+		Lack of knowledge and perspective: uncertainties about the choice of the most suitable species and the effectiveness of the operation
Mechanical weeding	+	+	+	+	+	
Use of fuel-efficient equipment (tractor, mechanical harvest)	++					
Manual harvest		++	++			
Removal of anti-botrytis and insecticide products				++		Involves prophylaxis and another way to manage disease risk
Fertilisation with manure	+					Involves local provisioning issues (quantity available and logistics)

The combination of two operations is perceived as the most feasible in the short term. Indeed, in addition to reducing the environmental impact, it would also reduce production costs. The only barrier identified for this operation is the need to adapt the equipment (low investment and adjustments depending on the parcels).

For the implementation of recycling tunnel sprayers, a first economic constraint concerns the investment required for the purchase of equipment, which may nevertheless be amortized over the long term with the associated reduction in inputs. In addition, this operation may require more work time (depending on equipment and configuration of plots) and will therefore have an additional cost. Finally, several participants identified a potential need for higher driving skills.

The use of green manures is also one of the most interesting practices for winegrowers whereas it was not the best environmental solution. Indeed, participants were very interested by its agronomic advantages. However, its implementation remains difficult due to a lack of knowledge about this practice. Participants expressed a need to find the most suitable species for the plot and to know the conditions of the success of this practice. This plant cover must be easy to control to avoid any competition with the vine and must be interesting in terms of nutrient inputs. In addition, this practice would involve small investments (e. g. seed drill, roller) and an adaptation of the work organization (to do the sowing).

[3.4.2. Workshop process: strengths and suggestions for improvement](#)

Surveys and semi-structured interviews show that the participants are globally satisfied with the three workshops. They consider that they have learned new elements on the environmental impacts of different practices and on the levers for improving environmental performance. They declare that they didn't learn much about the existence of new practices but that the workshops confirmed their interest for practices that they were already planning to test on their farms. These practices include: herbicide reduction, tillage, green manures, use of recycling tunnel and the combination of mowing and trimming operations.

Group work periods were considered useful and well organised. The materials and animation tools (board games, cards, calculation and graphic tools) were considered very relevant and useful by the participants. In particular, the involvement of "case study" winegrowers in the group working on their case was considered relevant and important by both the "case study" winegrowers and the extension officers. The winegrower can thus better explain some practice choices and give detailed information about the context of the plot. This information makes it easier for participants to identify what could be improved.

For the majority of participants, LCA seems relevant to improve the environmental performance of TMRs. They found the LCA method interesting because it provides a more global view of environmental impacts. Some may have discovered environmental issues that they had not identified, such as the impact of copper on the soil quality or the trade-off between herbicide use and mechanical weeding (eco-toxicity impact vs. climate change). It is also identified as interesting because it allows scenario comparisons to be made.

Finally, the majority of the interviewed participants suggested that, beyond the groups involved in a pesticide reduction approach, the proposed approach would be of interest to other groups of winegrowers. They identified the groups involved in defining the AOC specifications, the groups of

cooperative cellars as well as those specific to an environmental approach (watershed management, sustainable development winegrowers, etc.)

Several improvements were identified during both sessions. These improvements are related to the objectives of the workshops, the inclusion of additional decision criteria and the methodological framework of LCA.

First, the objectives of each workshop were slightly modified after the 1st session. Indeed, during the 1st session, some participants and the facilitators had identified that the knowledge inputs on LCA were too long (detailed explanations on the scope of the study and examples of results on other plots). It was suggested that participants should work earlier on the results of case studies. In addition, the discussion about the impact of the designed TMRs on quality and performance at the end of the 1st session was considered too short. Indeed, a 4th workshop on this subject only had been considered before starting this session. These evolutions have therefore been integrated for the 2nd workshop session. The "icebreaker" exercise at the beginning of workshop 1 has been maintained by focusing solely on identifying the environmental criteria of importance to winegrowers. The presentation of the LCA has been simplified and the alternative generation exercise directly integrated into Workshop 1. The content of Workshop 2 of the 2nd session corresponds to Workshop 3 of the 1st session. Finally, a third workshop was designed to address the impact on quality.

Inclusion of additional criteria has been proposed by participants. Those criteria could be identified at the beginning of each session (during "ice-breaker" time) and during the workshops. First, participants wanted to have other environmental impact indicators available: impact on biodiversity and impact on human health. No biodiversity indicators could be included during the process. However, a simple indicator on human health has been included in the design process. Products identified as CMR (carcinogenic, mutagenic, reprotoxic) have thus been removed from the TMRs as much as possible. Other additional indicators requested by winegrowers could also be integrated at the end of the 2nd session: an economic indicator (cost of operations per hectare), two simple environmental indicators familiar to the group (treatment frequency index and fuel consumption) and two indicators concerning work organisation (total manual working time and total working time of tractors)

Finally, some improvements related to the LCA methodological framework were proposed by participants. First, during both sessions, some participants mentioned that a change in the scale of the study (e.g. farm scale, multi-annual scale to include interannual variability) would be interesting. Indeed, for some operations (e.g. fertilisation), TMR scale is not the reference scale for decision-making by the winegrowers. Moreover, several discussions during the workshops focused on the lack of accuracy of fuel consumption data and data mistakes on the duration of operations, despite considerable efforts to collect data from "case study" winegrowers. The effectiveness of group work could therefore be improved by avoiding these discussions.

4. Discussion

4.1. Contribution of the proposed approach to environmental issues in viticulture

The proposed approach makes it possible to address the issue of the reduction of the environmental impacts of viticulture. The multi-criteria approach of LCA makes it possible to assess the impact of a system on several environmental issues. It therefore makes it possible to respond to the most prominent environmental issues (e.g. pesticide impact, climate change) and to evaluate others to avoid impact transfers.

In the proposed approach, the improvement of the overall environmental performance is made possible by the identification of environmental hotspots. First, the operations which contribute the most to the total impact of the TMR are identified, and then the most impactful flows for each of these practices. The proposed approach has thus made it possible to improve the environmental performance of 4 of the 5 case studies.

Among the major challenges in viticulture, the proposed approach makes it possible to address the issue of reducing the impact of pesticides. On this subject, two main indicators are usually used by the group. The treatment frequency index is used to assess the reduction of pesticide consumption. The dangerousness of the product for the user is identified if the product is classified as CMR. The use of LCA allows going further by also integrating the potential impact of these products on the environment. Participants were surprised by the environmental impact of some products (folpet, metiram, copper). For the latter two substances, they also identified the absence of alternatives with similar purposes.

Climate change is not the subject of any specific consideration within the group. Nevertheless, it is a major environmental issue at the international level and it consequently presents an important challenge for viticulture. The use of LCA makes it possible to make a detailed assessment of the greenhouse gases emitted. Two main sources of impact were identified in the case studies: the repetition of mechanical operations (CO₂ emissions) and fertilisation (N₂O emissions). In the case of climate change, the presentation of results by contribution of practices is relevant only to identify the impact of fertilisation. When there is no fertilisation in the TMR studied, it is difficult to identify the most contributing practice. Participants were therefore told to think about strategies to reduce the number of mechanical operations.

The reduction in the number of mechanical operations also concerns other impact categories (e.g. depletion of fossil resources, metal and water resources). The way the results were presented did not allow this type of hotspot to be identified. It was therefore necessary to alert participants to the impact of the repetition of certain practices. To fill this gap, another approach to presenting results would be to present them by the contribution of inventory flows (Renouf et al. 2018). This presentation makes it possible to directly identify the flows that contribute most to the total environmental impact. However, there would still be a need for winegrowers to link these flows to practices in order to know where they can take action.

Finally, some of the changes in practice discussed did not correspond to environmental hotspots but to other objectives of winegrowers (agronomic, economic or organisational). In this sense, weed management was particularly discussed, which probably corresponds to an implicit change objective of the participants: herbicide reduction. This implicit objective was briefly mentioned during one of the sessions and probably corresponds to a regulatory anticipation on the probable prohibition of

weeding on the entire plot in the specifications of the AOC. Mechanical weeding and the use of green manures are two alternatives that have been discussed at length in the workshops. The participation of winegrowers has therefore made it possible to integrate an environmental issue not highlighted by the LCA results.

4.2. Contribution of the proposed approach to practice change of participants

The approach allowed winegrowers to better understand the link between practices and their environmental impacts and, on the other hand, it allowed winegrowers to investigate solutions and discuss their interest both in terms of their environmental performance and their feasibility (economic, organisational).

The majority of the discussions focused on hotspot resolution. For most of these hotspots, winegrowers were able to propose several impact reduction strategies. During Phase B of the process, some of these strategies were unanimously agreed upon (e.g., the use of recovery panels, operation coupling and the use of fuel-efficient equipment). The environmental efficiency and ease of implementation of these operations was considered more important than the costs involved.

On the other hand, some hotspots were discussed without leading to the integration of solutions in the eco-designed TMR, either because the proposed solutions were not satisfactory from the point of view of environmental results (e.g. fertilisation, or because the solutions were not satisfactory from the point of view of other criteria integrated by the participants (lack of knowledge, economic, agronomic or organizational criteria).

While the workshops have increased winegrowers' interest in certain practices, the question of the effective implementation of these practices remains unresolved. The real impact of the approach on the change of practice is therefore difficult to prove. Nevertheless, the approach has provided winegrowers with specific elements for discussion on a wide range of practices as well as more global elements for reflection by raising their awareness of the life cycle approach and other environmental issues.

In the ESR scheme (Hill and McRae 1996), the level of innovation achieved in the workshops is related to efficiency and substitution. This degree of innovation is rather in line with the initial objective of supporting practice change towards better environmental performance. The approach can thus be qualified as a step-by-step design approach since its objective is continuous improvement and incremental innovation.

Nevertheless, eco-design and, more generally, incremental innovation approaches only partially address the urgency of current environmental issues (Tyl 2011). Eco-design approaches leading to disruptive innovations would therefore also be necessary. Based on the proposed approach, the main improvement to be made would thus be to allow a better sharing of objectives at the beginning of the design process. Indeed, the definition and sharing of objectives are important elements of participatory approaches in the innovative design of agricultural systems (Meynard et al. 2012; Reau et al. 2012). The approach proposed here requires the use of LCA as an assessment tool and the assessment scale (TMR). These prerequisites may have reduced the possibilities for innovation and sometimes made it difficult for participants to be self-motivated. A collective and shared definition of design objectives could broaden the spectrum of solutions while allowing for a better engagement of participants.

5. Conclusion

The proposed approach made it possible to support two groups of winegrowers and their advisors in their efforts to reduce the environmental impact of their practices. The use of LCA enabled participants to understand the diversity of environmental impacts and their links to practices. They were thus able to propose solutions to reduce the potential impacts of TMRs from members of the group.

The participatory approach made it possible to integrate both environmental and non-environmental criteria that were complementary and that had emerged from the participants. Environmental criteria that were not evaluated by the LCA could be easily integrated (removal of CMRs for human health criteria, removal of herbicides to anticipate future regulations). The non-environmental criteria made it possible to identify the potential barriers to the implementation of the proposed solutions. These criteria are mainly related to economic or work organisation issues. Implicit criteria such as maintaining grape yield and quality may also have influenced the design process.

To our knowledge, these studies are among the first to apply eco-design in agriculture. This type of approach seems interesting to support the change towards more environmentally friendly practices. However, the annual TMR scale proposed in the approach has shown its limits, in particular to integrate economic and work organisation criteria that cannot be ignored in the winegrowers' decision-making processes. Based on this work, approaches applied at different scales can thus be considered (e.g. farm, territory) in order to better integrate important decision-making criteria of farmers (Czyrnek-Delêtre et al. 2018).

Different modalities of participation from the one proposed are also possible. On this basis, one could imagine a different use of LCA. It could both be used as a tool to evaluate the proposed solutions and as a tool to define the objectives of the process. Indeed, the LCA methodological framework includes a first phase of objective and scope definition where important and structuring concepts for system evaluation, such as the functional unit, are defined. These concepts could be discussed with winegrowers and therefore allow a better appropriation of the LCA tool. Other research has provided interesting milestones in this direction (De Luca et al. 2017; Mathe 2014).

Supplementary material

S-A) Example of the analysis grid for the discussions about TMR1_S2 during the second workshop

Topics discussed	Category of operation discussed	Time spent on the topic (minutes)	Related topics discussed	Polluting subjects	Why is the subject being discussed?	Has the discussion resulted in a solution ?	If no solution, what prevented the discussion from reaching a solution proposal?	Other comments
Pruning	Manual operation	4			Low number of working hours according to winegrowers	No	Facilitator : impact of this operation is very small so no need to spend time on this	
Chemical weeding	Soil management	2		Difficulties to understand the initial weed management operations, especially how many inter-rows are covered with grass ?	Intervention of a winegrower	No	Winegrower : "Initial TMR was perfect. There is nothing to change... "	Winegrower : "...expect switching from chemical to mechanical weeding and implementing recycling tunnel"
Pesticides applications	Pesticides applications	3	Questions about the reliability of the results about recycling rates proposed		"We should replace the practices that have the greatest impact"	Yes		Case-study winegrower wants to switch to "organic agriculture". But then he will have much more impact because of copper. → we put recycling tunnel with copper applications
Fertilisation	Fertilisation	3			high contribution to impacts, intervention of a viti	No	Replace organic fertiliser with mineral one ? No, it should have more impact	
Pruning	Manual operation	1			Facilitator talked about it	Yes		
Tying vine	Manual operation	1			Consequent to pruning	No	Work time is ok	

Weeding	Soil management	3	Can robots both do mechanical weeding under the vine row and in the inter-row ?	A winegrower opens the discussion, extension officer proposes a robot	Yes	All chemical weeding operations replaced with mechanical weeding executed by a robot
Mechanical weeding	Soil management	1		How many tractors on the farm ?	Yes	Let's try fuel-efficient tractor
Shredding vine shoot	Other mechanical operation	0		Discussions about the risk of frost	Yes	Reducing speed and increasing consumption
Mowing	Soil management	1	Mowing in March to avoid frost but we can avoid mowing if we assume we don't fear frost...		No	extension service officer proposes to implement green manure
Green manure	Soil management	4		Extension officer: If you want to implement green manure, we have to discuss it now because it has an impact on the whole management of soil	Yes	Replacing mechanical weeding with a rolling operation because we don't weed this inter-row anymore but implement green manure instead
Fertilisation	Fertilisation	0		Intervention of a winegrower	No	Nothing to be changed
Mechanical weeding	Soil management	1		Detailed information about winegrower's practice: 1 st chemical weeding, 2 nd mechanical weeding with blades and then discs	Yes	

Soil management	Soil management	1	Interest of rolling cover crops to avoid frost			
Soil management	Soil management	2			Yes	"One mowing and one mechanical weeding with the robot remaining and we are done with soil management"
Mowing	Soil management	2	Confusion between shredding of vine and mowing	Intervention of a winegrower	Yes	Only two mowing in a year could be sufficient
Green manure	Soil management	1			Yes, direct sowing implemented	
Other manual operations	Manual operation	3			Yes	
Harvesting	Harvest	2			Yes	switching to manual harvest
Pesticides applications	Pesticides applications	10	Recycling rate + copper and metiram are contact products for which there is no alternative		Yes	We add recycling tunnel for all pesticides applications.
Trimming	Other mechanical operation	2			Yes	One trimming is combined with a mowing and the second trimming operation is kept

S-C) Survey guide for semi-directive interviews – 2nd session of workshops

Interviewer : Anthony Rouault

Respondent : _____ Date of the survey : _____ Duration of the survey : _____

Respondent participated to : Workshop 1 Workshop 2 Workshop 3

Role of the respondent during the workshops : « Case study winegrower » Other winegrower
 Extension officer

The thesis aims to set up an eco-design approach for technical viticultural itineraries. The 3 workshops conducted with this group are the second held as part of the thesis and the first as part of the ECO3VIC project.

This interview is therefore a follow-up to these workshops and aims to gather information on the participants' feelings about the workshops in order to better analyse their progress and identify points for vigilance and/or improvement.

Several subjects will be discussed :

- Designed TMRs
- The workshop process (facilitation mode,...)
- The interest of the LCA in evaluating viticultural practices
- Impact of the approach on practice change
- Dissemination of the approach within local and regional networks

Location of the interview : Farm ? Oui Non Comment :

Ask permission for recording.

Designed TMRs

What do you remember about the TMRs designed after the 3 workshops? (Provide elements to recall the TMRs in question)

Q1 : How would you describe the TMRs designed at the end of the 3 workshops?

What best describes them ? Would you say they are innovative ?

What practices are changing from the original TMR ? How do you place them in an ESR scheme ?

Q2 : Do you think the new practices identified are easy to implement in relation to the initial TMR ?

Are these practices implying

New investments ?

New work organisation ? (More workload, new skills, new timing, supplementary arduousness)

Comments :

The workshop process (facilitation mode,...)

Q3 : In your opinion, did the composition of the groups during the workshops influence the TMRs designed??

If so, how much? Why? What other elements of the process could have had an influence ?

Q4 : What did you think of the materials and methods of animation proposed during the various workshops ?

Workshop 1 :

Workshop 2 :

Workshop 3 :

Do you have any suggestions for improvement ?

In your opinion, what other topics should be addressed as a priority in the workshops ?

Quality/Yield,

Economic issues,

Work organization issues

The interest of the LCA in evaluating viticultural practices

Q5 : On what basis do you consider the impact of the practices on the environment and/or the consumption of natural resources ?

Which of the following tools do you use :

Treatment Frequency Index How do you use it ?

Newsletters from extension services How do you use it ?

Weather forecasts How do you use it ?

Indicative plants How do you use it ?

Others :

Q6 : What did you learn from the LCA (Life Cycle Assessment) method ?

Re-explain, if necessary, the main characteristics of the LCA, before the next question

Q7 : Has the LCA made you discover some of the environmental issues related to viticulture ?

Impact of the approach on practice change

Q8 : Before the workshops, did you plan to change some of your practices in the vineyard ?

Yes No

What kind of change ?

- *Purchase of new equipment ?*

- *Mechanization of a practice ?*

- *Change to manual work ?*

- *Soil management practices*

- *Spraying techniques*

- *Choice of active ingredients ?*

Others :

Q9 : Did the workshops confirm or refute some ideas for changing practices ?

Have you planned any changes in practices as a result of the workshop ?

Dissemination of the approach within local and regional networks

Have you talked about the workshops with other people since the end of the session ? Yes No

If yes :

- How many people ?
- Who ? Other winegrowers Employees/Collaborators
 Your extension officer Customers Family
 Other :
- About which subject ?

Q10 : In your opinion, could this type of approach be of interest to other winegrower networks ?

Which ones ?

Summary of the interview

What would you keep in mind about the different topics discussed today?

Any other topics you would like to discuss now ?

Other workshops ?

Have you ever participated in TMR or crop system design workshops before these ?

Yes No

Which ones ?

Differences ?

Positive aspects :

Negative aspects :

Atelier Qualité

1. Introduction

L'un des objectifs de ces travaux de thèse est de proposer une démarche participative d'éco-quali-conception® permettant de concevoir des itinéraires techniques (ITK) viticoles répondant au double enjeu environnement-qualité. La démarche proposée est un processus en 3 phases successives et s'articule autour d'une série de 3 ateliers participatifs, où les participants sont majoritairement des viticulteurs. Les deux premières phases précédemment décrites permettent d'éco-concevoir des ITK viticoles à partir d'ITK existants. La 3e et dernière phase vise à évaluer l'impact potentiel de ce changement de pratiques sur la qualité du raisin produit. L'objectif de cette dernière phase et de ce dernier atelier est ainsi d'évaluer collectivement l'influence potentielle des changements de pratiques proposés dans les ITK éco-conçus sur la qualité du raisin.

La définition de la qualité du raisin et sa mesure sont complexes. En effet, la qualité d'un produit est un concept abstrait qui peut être divisé en plusieurs dimensions (Fandos and Flavián 2006; Garvin 1984). Les chercheurs tendent ainsi à se concentrer sur les facteurs qui permettent de définir ou de révéler cette qualité (Charters and Pettigrew 2007). Parmi les facteurs qui peuvent influencer sur les choix des consommateurs en lien avec la qualité d'un produit, deux groupes de facteurs peuvent être définis : les attributs intrinsèques (qui permettent de mesurer objectivement la qualité) et les attributs extrinsèques (qui ne font pas physiquement partie du produit mais y sont associés : nom du produit, marque,...) (Fandos and Flavián 2006). La définition de la qualité est particulièrement difficile dans l'industrie viticole. Beaucoup de travaux sur la qualité du vin réfèrent cependant aux qualités sensorielles et physico-chimiques du raisin et du vin. L'évaluation sensorielle du vin vise à la fois à caractériser finement les attributs sensoriels des produits et à comprendre la perception du produit par les consommateurs. Tandis que l'évaluation physico-chimique répond plutôt à une volonté de suivi et de maîtrise de la qualité du vin.

En Europe, les labels AOP et IGP permettent d'identifier une qualité de vin propre à une zone géographique. Ces labels garantissent via un cahier des charges une qualité de vin reliée à une région et son savoir-faire. Ces labels de qualité sont ainsi fortement en lien avec les notions de typicité et de terroir (Casabianca et al. 2005). En France, 94 % de la production viticole est sous signe de qualité (AOP ou IGP). Dans le cadre d'une cave coopérative, une définition collective de la qualité existe. La cave évalue en effet la qualité et la quantité de raisin fourni par chaque viticulteur et les rémunère sur cette base. Le viticulteur est donc dans un rôle de fournisseur de matière première et n'a d'emprise sur la qualité du vin produit qu'au travers de la qualité du raisin qu'il fournit. La qualité des vins produits par la cave dépend en effet des apports de l'ensemble de ses viticulteurs membres et des choix de transformation opérés à la cave.

En viticulture, la qualité du vin est fortement dépendante de la qualité du raisin. Cette dernière est influencée par les facteurs du milieu (type de sol et conditions météorologiques de l'année) et par les pratiques viticoles. Les interventions du viticulteur au cours de l'année ont principalement un objectif correctif (Coulon 2012). Beauchet (2016) a permis de réaliser un modèle explicatif de la qualité du raisin en fonction des pratiques du viticulteur. La prédiction de la qualité du raisin à partir des pratiques viticoles reste ainsi difficile notamment en raison de la complexité du processus de construction de la qualité du raisin et des nombreuses interactions entre facteurs du milieu,

pratiques et critères de qualité. La construction d'un modèle prédictif nécessiterait ainsi d'importantes quantités de données pour chaque cépage (Beauchet 2016).

Dans le cadre de la démarche d'éco-quali-conception® d'ITK viticoles, une approche à dire d'experts a été retenue pour réaliser l'évaluation de la qualité du raisin lors d'un atelier participatif. L'objectif de cette partie est de questionner la pertinence de ce type d'approche pour l'évaluation de la qualité du raisin dans le cadre d'une démarche participative d'éco-quali-conception®. Dans un premier temps, la démarche qui a été adoptée et appliquée à un groupe de viticulteurs est décrite. Les résultats obtenus tout au long de ce processus d'évaluation sont ensuite présentés. Enfin, la discussion permettra d'évaluer la pertinence de l'approche proposée dans le cadre de la démarche globale d'éco-quali-conception® d'ITK viticoles.

2. Matériel et méthodes

L'objectif du 3e atelier de la démarche d'éco-quali-conception® d'itinéraires techniques viticoles est d'évaluer à dire d'experts l'évolution potentielle de la qualité du raisin entre l'ITK initial et l'ITK éco-conçu.

Dans le cadre de cet atelier, on supposera qu'un itinéraire technique viticole est conçu pour un objectif de production donné (type de vin d'une certaine qualité), lui-même défini selon les conditions pédo-climatiques et le matériel végétal de la parcelle. Puisque l'éco-conception des itinéraires techniques lors de l'atelier 2 est basée sur un ITK réalisé sur une parcelle donnée lors d'un millésime donné, on évaluera les performances des ITK éco-conçus pour des conditions pédo-climatiques identiques sur la même parcelle. Les ITK éco-conçus étant fictif, l'évaluation de la qualité du raisin qu'ils permettent de produire est théorique.

L'atelier a été organisé en deux étapes successives : i) Identification des pratiques les plus influentes sur la qualité; ii) Evaluation de l'impact du changement de pratiques (proposé à l'issue de l'atelier 2) sur la qualité du raisin produit.

Une réunion de préparation et plusieurs échanges ont eu lieu avec les conseillers viticoles en amont de l'atelier. La réunion de préparation aura permis de construire le contenu de l'atelier (définition des objectifs de chaque étape de l'atelier, réflexion sur la cohérence des différentes étapes, simulation de l'exercice de Méta-plan guidé, définition des post-it « objectifs intermédiaires ») ainsi que de choisir les indicateurs de qualité du raisin. Il a ainsi été décidé d'utiliser les indicateurs de qualité du raisin utilisés par la cave coopérative pour rémunérer les viticulteurs pour l'évaluation de la qualité : l'état sanitaire, la maturité technologique et la maturité phénologique. Ce choix suppose que ces indicateurs correspondront à une définition partagée de la qualité au sein du groupe de viticulteurs participants aux ateliers et qu'ils seront satisfaisants pour évaluer les performances (qualité du raisin) des itinéraires techniques. Suite à cette réunion de préparation, des échanges par mail ont permis de produire trois documents résumant chacun les discussions probables sur le lien entre les pratiques et chaque indicateur de qualité du raisin. Ces documents ont été utilisés par les animateurs pour préparer les discussions lors de l'atelier.

2.1. Identification des pratiques les plus influentes sur la qualité

En l'absence de modèle permettant de prédire l'impact des pratiques sur la qualité du raisin, nous souhaitons mobiliser les connaissances des viticulteurs sur le sujet. C'est pourquoi, avant l'évaluation « qualité du raisin » de l'ITK, nous proposons aux viticulteurs d'identifier l'impact potentiel de chaque pratique ou groupes de pratiques sur chaque indicateur de qualité de la cave. Le besoin est d'abord

de créer un consensus autour des pratiques et de leur lien avec la qualité du raisin. Ce consensus a été établi en deux temps. Tout d'abord, la technique du Méta-plan a été utilisée pour éliciter les connaissances des participants sur le lien entre les pratiques et chacun des indicateurs de qualité du raisin (voir encadré 1 ci-dessous). L'animateur de chaque Méta-plan a été préparé en amont de l'atelier à l'aide d'une version du Méta-plan établie par les chercheurs et conseillers participants aux ateliers.

Encadré 1 : Méta-plan guidé

Supports :

- 1 paper board par indicateur « qualité » : Etat sanitaire, Maturité technologique, Maturité phénolique.
- 2 couleurs de post-it : 1 couleur pour les post-it « objectifs intermédiaires », 1 autre couleur pour les post-it « pratiques/leviers »

Mode d'animation : Méta-plan par sous-groupe. Chaque groupe passe tour à tour sur un paper board (cf. « world café »).

- a. Chaque sous-groupe doit d'abord positionner des post-it « objectifs intermédiaires » (définis à l'avance) sur un paper board vierge où apparaît seulement le nom de l'indicateur.
- b. Ensuite, chaque sous-groupe relie un ou plusieurs post-it « pratiques » aux post-it « objectifs intermédiaires ». Pour chaque lien pratique-objectif intermédiaire, une explication doit apparaître sur le paper board (à côté du post-it « pratique » concerné). Si possible, le ou les paramètres de la pratique qui ont le plus d'influence sur l'objectif intermédiaire sont également notés sur le paper board.
- c. Toutes les 10' les groupes changent de paper board. Chaque groupe a une couleur de crayon et complète ou corrige ce qu'a fait le groupe précédent. (mais interdiction de déplacer les post-it du groupe précédent.)

A noter : 1 animateur est présent auprès de chaque Méta-plan et a pour rôle de faciliter les discussions et de remplir le paper board. Des discussions avec les conseillers techniques du groupe en amont des ateliers ont permis de faire un court bilan des connaissances sur les principales pratiques influençant chaque critère de qualité du raisin et d'anticiper le contenu des discussions. Chaque animateur dispose ainsi d'un Méta-plan (en version A4) résumant ces discussions et pouvant l'aider à animer les discussions

Dans un deuxième temps, les Métaplans sont réutilisés pour évaluer le degré d'influence des pratiques évoquées durant l'exercice précédent sur chaque indicateur de qualité (voir encadré 2).

Encadre 2 : Effets positifs et négatifs

Support :

- Sur le tableau de la salle, on dessine l'un en dessous de l'autre 3 axes horizontaux orientés vers la droite, un pour chaque indicateur.
- Reprendre les post-it de l'exercice précédent pour les positionner sur les axes de chaque indicateur.

Mode d'animation : En grand groupe, devant le tableau.

- a. Pour chaque indicateur, l'animateur du paper board résume les discussions.
- b. Il identifie d'abord les éléments qui ont fait consensus et hiérarchise les post-it « pratiques/leviers » correspondant sur l'axe horizontal du moins influent au plus influent sur l'indicateur en question en s'assurant de l'approbation du groupe.
- c. Pour les éléments qui n'ont pas fait consensus, il rappelle les principaux points de désaccords. Si une nouvelle discussion aboutit à un consensus, alors il positionne le/les post-it « pratiques/leviers » correspondants sur l'axe horizontal.

2.2. Evaluation de l'impact du changement de pratique sur la qualité du raisin produit

Dans une 2e étape, les performances « qualité du raisin » des ITK éco-conçus à l'atelier 2 sont évaluées sur la base du lien pratiques-qualité discuté précédemment. Si besoin, les viticulteurs peuvent alors identifier les changements de pratiques qui peuvent modifier le potentiel de qualité du raisin de la parcelle étudiée puis reconcevoir l'ITK pour ne pas affecter le potentiel de qualité du raisin. Cette évaluation est réalisée en deux temps. Tout d'abord, pour chaque ITK éco-conçu, les pratiques qui ont le plus d'impact sur la qualité du raisin sont identifiées (à l'aide de pions de couleurs disposés sur les supports qui avaient déjà été utilisées pour concevoir les ITK éco-conçus lors de l'atelier 2). Dans un second temps, les discussions du groupe permettent d'évaluer à l'échelle de l'ITK l'influence de ces changements de pratiques sur le potentiel de qualité du raisin de la parcelle (voir encadré 3).

Encadré 3 : Identifier les pratiques de l'ITK alternatif qui ont le plus d'impact sur la qualité.

En s'appuyant sur les échanges précédents. (voir encadrés 1 et 2)

Supports :

- 1 plateau de jeu par table pour chacun des 3 ITK. Les cartes alternatives sont positionnées sur le plateau pour rappeler l'ITK qui avait été construit à l'atelier précédent.
- 1 couleur de pion par indicateur

Mode d'animation : On reprend les sous-groupes de l'atelier précédent et chaque sous-groupe travaille sur un ITK

- a. Positionner les pions de couleurs sur les cartes en fonction de leur influence sur un des indicateurs de la qualité
- b. Déterminer à partir de l'ensemble des pions si le potentiel de qualité est réduit, maintenu ou amélioré par rapport à l'ITK de référence

3. Résultats

3.1. Métaplans guidés et pratiques les plus influents sur la qualité du raisin

L'exercice des Métaplans guidés a permis de construire une vision partagée du lien pratiques-qualité le temps de l'atelier. L'identification de 7 « objectifs intermédiaires » en amont de l'atelier a permis de faciliter les discussions sur ce lien pour chacun des 3 indicateurs de qualité retenus. Ces objectifs ont été définis en amont de l'atelier et sur proposition des conseillers viticoles du groupe. Ils ont été définis sur la base de leurs connaissances et expérience sur les éléments intermédiaires qui permettent aux viticulteurs de piloter la qualité via les pratiques.

La plupart de ces « objectifs intermédiaires » ont été utilisés lors de l'atelier et seulement un objectif été créé au cours de l'atelier (voir Table 20). Des interactions entre certains de ces objectifs ont été soulignées. Par exemple, des liens entre « Gestion du sol » et « Gestion de la vigueur » ont été décrits sur les 3 Métaplans. Les notions d'équilibre de la vigne ou d'équilibre de la vigueur ont été évoquées plusieurs fois par les participants pour caractériser ce lien. Les pratiques mises en cause dans ce lien sont surtout des pratiques liées au sol, à savoir : l'enherbement (présence ou non et niveau de concurrence hydrique et/ou azotée avec la vigne), les pratiques de désherbage (chimique ou mécanique) et les pratiques de fertilisation et d'amendement. Seul le choix d'un matériel végétal adapté aux objectifs de production apparaît pour maîtriser directement la vigueur.

La « Gestion des grappes » a été principalement discutée au travers des notions d'aération grappe/feuillage pour éviter le développement des maladies. L'état sanitaire des grappes a été identifié comme un élément important pour la maturité à la fois phénolique et technologique (notamment car une dégradation de l'état sanitaire global peut entraîner une date de vendange précoce et donc une maturation moins avancée). Ce sont principalement des pratiques en vert qui ont été identifiées pour obtenir une « bonne aération des grappes », à savoir : taille, ébourgeonnage, dédoubleage, accolage, vendange en vert. Le choix du matériel végétal a également été identifié comme un levier possible dans ce sens. Enfin, les traitements phytosanitaires ont été identifiés en tant que pratique curative.

La « Gestion du feuillage » a été souvent raisonnée en lien avec la « Gestion des grappes ». En effet, il est à la fois nécessaire d'optimiser surface foliaire exposée (plus cette surface sera importante, meilleure sera la maturation), de dégager les grappes pour qu'elles bénéficient également de l'ensoleillement et de limiter l'entassement du feuillage et des grappes pour éviter le développement des maladies (« avoir un feuillage sain pour avoir une bonne maturation »). Les pratiques identifiées pour ces trois besoins sont pour la plupart des opérations dites « en vert » (effeuillage, ébourgeonnage, rognages, accolage). La notion de feuillage sain a permis d'identifier une interaction avec l'indicateur « Etat sanitaire » dans les 2 autres Métaplans (« Maturité phénolique » et « Maturité technologique »).

Les 3 autres « objectifs intermédiaires » ont été moins utilisés, probablement en raison du recoupement avec les 4 autres objectifs. Dans le cas de la « Maturité phénolique », le « Rapport feuille/fruit » a été relié à la hauteur de palissage. Alors qu'il a été relié à la gestion du nombre de grappes dans le cas de la « Maturité technologique ». Le « Rapport hauteur de palissage/écartement de l'inter-rang » a été relié aux opérations de rognage et de palissage dans le cas de la « Maturité technologique » et aux opérations de palissage et d'effeuillage dans le cas de « l'Etat sanitaire ». Le « Rapport surface pelliculaire/pulpe » a quant à lui été relié à la date de vendange dans le cas de la « Maturité technologique ».

Enfin, un objectif intermédiaire « Vendanges » a été créé au cours des discussions sur l'« Etat sanitaire ». Les pratiques qui ont été reliées à ce post-it sont la réalisation de tri de vendanges, la gestion des verjus (jus acide issu de raisins n'ayant pas mûri), le choix entre vendange mécanique et vendange manuelle et le choix de la date de vendange.

Table 20 : Utilisation des post-it intermédiaires pour chaque indicateur de qualité.

En italique : post-it « objectif intermédiaire » créé le jour de l'atelier.

Post-it « objectifs intermédiaires » utilisés lors de l'atelier	Etat sanitaire	Maturité phénolique	Maturité technologique
Gestion de la vigueur	X	X	X
Gestion du sol	X	X	X
Rapport feuille/fruit		X	X
Gestion du feuillage	X	X	X
Gestion des grappes	X	X	X
Rapport surface pelliculaire/pulpe			X
Rapport hauteur de palissage/écartement de l'inter-rang	X		X
<i>Vendanges</i>	X		

Suite aux discussions autour du lien entre les pratiques et les indicateurs de qualité, l'atelier a abouti à l'identification des pratiques les plus influentes pour chacun des 3 indicateurs de qualité du raisin : Etat sanitaire, Maturité phénolique, Maturité technologique (Table 21).

Table 21 : Hiérarchisation qualitative du degré d'influence des pratiques viticoles pour chaque indicateur de qualité

Importance de l'effet sur la qualité du raisin	Etat sanitaire	Maturité phénolique	Maturité technologique
Effet positif très fort	Taille (Répartition grappe sur baguette) Ebourgeonnage Dédoublage (variante de l'ébourgeonnage) Rognages Effeillage Enherbement Fertilisation organique	Hauteur de feuillage (rognages) Taille	Fertilisation Choix du matériel végétal Enherbement Désherbage (chimique ou mécanique)
Effet positif fort	Choix du matériel végétal Travail mécanique du sol	Fertilisation raisonnée Enherbement raisonné Effeillage	Hauteur de feuillage (rognages) Effeillage
Effet positif faible	Traitements phytosanitaires Vendange en vert		
Effet positif très faible	Tri de vendange Gestion des albottes Type de vendange Date de vendange		
Effet négatif		Utilisation du cuivre Fertilisation excessive	

Pour l'Etat sanitaire, la logique de hiérarchisation repose sur l'idée que les opérations permettant de limiter l'entassement de la végétation et d'aérer la zone des grappes sont les plus efficaces pour limiter la propagation de l'oïdium et du mildiou. Les pratiques prophylactiques pour prévenir les maladies sont ainsi perçues par le groupe comme étant celles permettant de limiter la vigueur et de

la corriger. Le choix du matériel végétal et le travail mécanique du sol ont été considérés comme des leviers moins importants car ils permettent de jouer sur la vigueur mais de façon moins directe que les précédents. Les traitements phytosanitaires sont indispensables mais doivent être réalisés selon la pression des maladies de l'année. Enfin, toutes les pratiques qui ont lieu au moment de la vendange ont été considérées comme de faibles leviers car il est trop tard à ce moment là pour réellement agir sur l'état sanitaire.

Pour la maturité phénolique, la logique de hiérarchisation repose principalement sur une maîtrise de la vigueur. La taille a donc été classée parmi les pratiques les plus influentes car elle permet de maîtriser la vigueur très tôt. L'effeuillage ainsi que la mise en place d'un enherbement et d'une fertilisation raisonnés permettent de maîtriser la vigueur un peu plus tard dans la saison viticole. Toutefois, une fertilisation excessive peut entraîner une vigueur excessive et donc être néfaste pour la maturation. Certaines pratiques n'ayant pas d'influence sur la vigueur ont cependant été identifiées comme ayant une influence notable sur la maturité phénolique. La hauteur de palissage apparaît ainsi comme un paramètre important car elle permet d'optimiser la surface foliaire exposée. Enfin, l'utilisation du cuivre pour les traitements phytosanitaires a tendance à durcir les baies et donc de rendre les anthocyanes moins extractibles. Cette pratique peut donc avoir un effet négatif sur la maturité phénolique.

Pour la maturité technologique, la logique de hiérarchisation a également été basée sur la maîtrise de la vigueur de la vigne. Le choix du matériel végétal, l'enherbement, la fertilisation et les pratiques de désherbage ont ainsi été positionnés comme éléments les plus influents car ils ont un rôle sur la vigueur et la qualité du raisin en amont de l'itinéraire technique. La hauteur de feuillage et l'effeuillage ont été considérées comme moins importantes car correctives.

3.2. Evaluation de l'impact du changement de pratiques envisagé à l'atelier 2 sur le potentiel de qualité du raisin

La plupart des changements de pratiques proposées entre les ITK initiaux et les ITK éco-conçus n'auraient au final aucun effet sur la qualité d'après les participants (voir Table 22).

Table 22 : Changement de pratiques proposés à l'atelier 2 et effets de ces changements sur la qualité du raisin (évalués par les participants lors de l'atelier 3)

Code ITK	Changement de pratique proposé pour l'ITK éco-conçu	Effet perçu sur la qualité du raisin
TMR1_S2	Remplacement désherbage chimique par un désherbage mécanique par robot	Aucun effet
	Changement de produit fertilisant	Aucun effet
	Mise en place d'un engrais vert	Aucun effet
	Mise en place de la pulvérisation confinée	Aucun effet
	Couplage d'une tonte et d'un rognage	Aucun effet
TMR2_S2	Passage en vendange manuelle	Peut-être une légère amélioration sur l'état sanitaire
	Utilisation de fumier comme fertilisant	Peut engendrer une meilleure maturité phénolique à long terme
	Réduction de dose d'herbicides entraînant un travail du sol sur une partie de la surface	Aucun effet
	Remplacement de matières actives à fort impact environnemental	Aucun effet
	Mise en place de panneaux récupérateurs	Aucun effet
TMR3_S2	Mise en place d'un engrais vert	Peut peut-être améliorer la qualité à long terme
	Mise en place d'un enherbement naturel	Aucun effet
	Réduction de dose d'herbicides entraînant un travail du sol sur une partie de la surface	Aucun effet
	Remplacement des produits classés CMR et réductions de doses de matières actives à fort impact environnemental	Aucun effet

Unaniment, les participants ont donc conclu que les changements de pratiques proposées pendant l'atelier précédent n'ont aucun effet sur la qualité du raisin dans les 3 cas étudiés.

4. Discussion

La méthodologie mise en place a permis le temps d'un atelier d'évaluer l'évolution potentielle de la qualité du raisin des ITK éco-conçus lors de l'atelier précédent. Cette évaluation repose complètement sur l'expertise des participants, guidée en partie par un choix préalable concerté avec les acteurs du conseil et les partenaires de la cave, sur les pratiques et les indicateurs de qualité. Elle correspond donc à une évaluation théorique et basée sur un consensus établi le temps de l'atelier.

La gestion de la vigueur est apparue comme un élément central des réflexions sur le lien pratiques-qualité. Plus précisément, les participants indiquent que la plupart des pratiques mises en place visent à obtenir un équilibre de la vigueur. Enfin, les pratiques identifiées par les participants comme leviers pour la gestion de la vigueur concordent avec une majorité de leviers identifiés dans la littérature (voir Table 23). L'approche à dire d'experts utilisée dans cet atelier semble ainsi être assez représentative de l'état des connaissances sur le lien entre pratiques et qualité du raisin. Néanmoins, l'approche n'a pas permis d'intégrer les facteurs pédoclimatiques, qui sont les principaux facteurs

influençant le fonctionnement de la vigne et donc les caractéristiques du raisin (Carbonneau et al., 2007).

Table 23 : Comparaison des leviers de maîtrise de la vigueur identifiés dans la littérature et dans l'atelier 3 de la démarche.

Principaux leviers de maîtrise de la vigueur de la vigne (d'après Coulon, 2012)	Leviers de maîtrise de la vigueur identifiés par les participants lors de l'atelier.
Choix du matériel végétal (porte-greffe et cépage)	Choix du matériel végétal
Mode d'entretien du sol	Enherbement (présence ou non et choix de l'espèce) et travail du sol
Fertilisation	Fertilisation
Densité de plantation	N/A

Les participants ont estimé que les ITKs éco-conçus n'entraîneraient pas de changement de qualité dans les 3 cas étudiés. L'adoption de pratiques viticoles plus performantes sur le plan environnemental ne semble donc pas incompatible avec un maintien de la qualité du raisin. Ce point avait déjà été mesuré dans le cadre des travaux de Beauchet (2016) avec la mise au point du modèle explicatif de la qualité sur cépage Chenin. Ce résultat peut également indiquer que le maintien de la qualité du raisin a été un critère implicite pour les viticulteurs lors du processus d'éco-conception des ITK. Ce critère implicite a pu être renforcé par l'utilisation de cas d'étude issus de viticulteurs du groupe et par la présence de ces viticulteurs tout au long du processus.

5. Conclusion

Dans le cadre de notre démarche d'éco-quali-conception® participative mise en oeuvre, le dispositif d'évaluation de l'évolution de la qualité du raisin a permis de montrer que les changements de pratiques proposés à l'issue du processus d'éco-conception n'ont pas eu d'impact sur la qualité. Il semblerait ainsi que la qualité a été intégrée implicitement par les viticulteurs au cours du processus de conception. La démarche globale proposée a ainsi permis d'intégrer à la fois la qualité et l'environnement pour concevoir des itinéraires techniques. Elle s'avère donc innovante et pertinente pour des systèmes de production sous signe de qualité (IGP /AOC) pour lesquels l'intégration de pratiques agroécologiques dans les cahiers des charges ne peut se faire au détriment du maintien de la qualité des produits imposée dans le cahier des charges.

Références

- Balafoutis A, Koundouras S, Anastasiou E, Fountas S, Arvanitis K (2017) Life Cycle Assessment of Two Vineyards after the Application of Precision Viticulture Techniques: A Case Study. *Sustainability*;9(11):1997.
- 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.: L'Université Bretagne Loire.
- Beauchet S, Rouault A, Thiollet-Scholtus M, Renouf M, Jourjon F, Renaud-Gentié C (2018) Inter-annual variability in the environmental performance of viticulture technical management routes—a case study in the Middle Loire Valley (France). *The International Journal of Life Cycle Assessment*.
- Bessou C, Basset-Mens C, Tran T, Benoist A (2013) LCA applied to perennial cropping systems: a review focused on the farm stage. *The International Journal of Life Cycle Assessment*;18(2):340-361.
- Carbonneau A, Deloire A, Jaillard B (2007) *La vigne: physiologie, terroir, culture*. Dunod.
- Casabianca F, Sylvander B, Noël Y, Béranger C, Coulon J-B, Roncin F (2005) Terroir et Typicité: deux concepts-clés des Appellations d'Origine Contrôlée. Essai de définitions scientifiques et opérationnelles. Symposium International sur les Territoires et Enjeux du Développement Régional.
- Charters S, Pettigrew S (2007) The dimensions of wine quality. *Food Quality and Preference*;18(7):997-1007.
- Coulon C (2012) 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: Université d'Angers.
- Czyrnek-Delêtre M M, Jourjon F, Perrin A, Renaud-Gentié C, van der Werf H M G (2018) From the field to the farm - scaling up life cycle assessment towards eco-design at farm-level. 11th International Conference on Life Cycle Assessment of Food 2018 (LCA Food). Bangkok, Thailand.
- De Luca A I, Iofrida N, Leskinen P, Stillitano T, Falcone G, Strano A, Gulisano G (2017) Life cycle tools combined with multi-criteria and participatory methods for agricultural sustainability: Insights from a systematic and critical review. *Science of The Total Environment*;595:352-370.
- Fandos C, Flavián C (2006) Intrinsic and extrinsic quality attributes, loyalty and buying intention: an analysis for a PDO product. *British food journal*;108(8):646-662.
- Garvin D A (1984) What Does "Product Quality" Really Mean? *Sloan management review*;25.
- Hill S B, MacRae R J (1996) Conceptual framework for the transition from conventional to sustainable agriculture. *Journal of sustainable agriculture*;7(1):81-87.
- ISO (2002) ISO 14062:2002 - Environmental Management: Integrating environmental aspects into product design and development. International Organization for Standardization.
- ISO (2006) ISO 14040:2006 - Environmental management -- Life cycle assessment -- Principles and framework.

Knight P, Jenkins J O (2009) Adopting and applying eco-design techniques: a practitioners perspective. *Journal of Cleaner Production*;17(5):549-558.

Kulak M, Nemecek T, Frossard E, Gaillard G (2016) Eco-efficiency improvement by using integrative design and life cycle assessment. The case study of alternative bread supply chains in France. *Journal of Cleaner Production*;112, Part 4:2452-2461.

Lacombe C, Couix N, Hazard L (2018) Designing agroecological farming systems with farmers: A review. *Agricultural Systems*;165:208-220.

Le Gal P Y, Dugué P, Faure G, Novak S (2011) How does research address the design of innovative agricultural production systems at the farm level? A review. *Agricultural Systems*;104(9):714-728.

Mac Millan T, Benton T G (2014) Agriculture: Engage farmers in research. *Nature*;509:25-27.

Martin G, Martin-Clouaire R, Duru M (2012) Farming system design to feed the changing world. A review. *Agronomy for sustainable development*;33(1):131-149.

Mathe S (2014) Integrating participatory approaches into social life cycle assessment: the SLCA participatory approach. *The International Journal of Life Cycle Assessment*;19(8):1506.

Meynard J-M, Dedieu B, Bos A P (2012) Re-design and co-design of farming systems. An overview of methods and practices. In: Darnhofer, I.; Gibbon, D.; Dedieu, B., editors, *Farming Systems Research into the 21st Century: The New Dynamic*. Dordrecht: Springer Netherlands; p. 405-429.

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

Peña N, Antón A, Kamilaris A, Fantke P (2017) Modeling ecotoxicity impacts in vineyard production: Addressing spatial differentiation for copper fungicides. *Science of The Total Environment*.

Reau R, Monnot L-A, Schaub A, Munier-Jolain N, Pambou I, Bockstaller C, Cariolle M, Chabert A, Dumans P (2012) Les ateliers de conception de systèmes de culture pour construire, évaluer et identifier des prototypes prometteurs. *Innovations agronomiques*;20:5-33.

Renaud-Gentié C (2015) 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, application aux itinéraires techniques de production de raisins de Chenin blanc pour vins blancs secs d'AOC en Moyenne Vallée de la Loire: Université Nantes-Angers-Le Mans.

Renouf M A, Renaud-Gentié C, Perrin A, van der Werf H M G, Kanyarushoki C, Jourjon F (2018) Effectiveness criteria for customised agricultural life cycle assessment tools. *Journal of Cleaner Production*.

Rouault A, Beauchet S, Renaud-Gentie C, Jourjon F (2016) Life Cycle Assessment of viticultural technical management routes (TMRs): comparison between an organic and an integrated management route. *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin*;50(2):77-89.

Rousseaux P, Gremy-Gros C, Bonnin M, Henriel-Ricordel C, Bernard P, Floury L, Staigre G, Vincent P (2017) "Eco-tool-seeker": A new and unique business guide for choosing ecodesign tools. *Journal of Cleaner Production*;151:546-577.

Schnelle E (1979) The Metaplan-Method: Communication tools for planning & learning groups. Metaplan.

Sebillotte M (1974) *Agronomie et agriculture. Essai d'analyse des tâches de l'agronome. Cahiers de l'ORSTOM*;24:3-25.

Tyl B (2011) *L'apport de la créativité dans les processus d'éco-innovation-Proposition de l'outil EcoASIT pour favoriser l'éco-idéation de systèmes durables: Université Sciences et Technologies-Bordeaux I.*

Vázquez-Rowe I, Villanueva-Rey P, Moreira M T,Feijoo G (2012) Environmental analysis of Ribeiro wine from a timeline perspective: Harvest year matters when reporting environmental impacts. *Journal of Environmental Management*;98:73-83.

Villanueva-Rey P, Vázquez-Rowe I, Moreira M T,Feijoo G (2014) Comparative life cycle assessment in the wine sector: biodynamic vs. conventional viticulture activities in NW Spain. *Journal of Cleaner Production*;65:330-341.

Viveros Santos I, Bulle C, Levasseur A,Deschênes L (2018) Regionalized Terrestrial Ecotoxicity Assessment of Copper-Based Fungicides Applied in Viticulture. Vol. 10. 2522 p.

CHAPITRE 4 : DISCUSSION GENERALE

Rappel des objectifs et synthèse des principaux résultats	124
Contributions pour l'application de l'éco-conception en agriculture et perspectives	126
1. Intérêts et limites de l'itinéraire technique annuel comme objet de conception	126
2. Limites liées au choix des acteurs et au mode de participation retenu.....	126
3. Intérêts et limites des méthodes et des critères d'évaluation retenus	128
3.1. Intérêt et limites de l'ACV tel qu'utilisé dans la démarche	128
3.2. Utilisation d'indicateurs complémentaires au cours de la démarche	130
4. Intégration de la qualité du raisin au processus de conception.....	130
5. Contribution à la transition agro-écologique en viticulture.....	131
Perspectives de recherche	133
1. Continuité des travaux au sein de l'USC GRAPPE.....	133
1.1. Poursuite des travaux de recherche-action sur l'éco-conception des systèmes viticoles.....	133
1.2. Transfert de la démarche pour une utilisation par les conseillers	133
1.3. Transfert pour la formation et la sensibilisation de différents publics	133
1.4. Poursuite des travaux sur l'évaluation des systèmes viticoles par ACV	133
2. Pistes pour introduire plus d'ACV dans les approches de conception innovantes	134

Rappel des objectifs et synthèse des principaux résultats

Cette thèse est à la croisée de deux domaines de recherche. D'une part, elle contribue aux recherches sur la co-conception de systèmes agricoles. En effet, dans ce domaine, peu de travaux se sont intéressés à l'utilisation de l'ACV pour concevoir des systèmes agricoles. D'autre part, les applications de l'éco-conception sont quasi inexistantes en agriculture et l'utilisation de l'ACV dans des démarches participatives est très peu documentée. La démarche proposée est parmi les premières à viser une re-conception d'un système agricole à l'aide de l'ACV en intégrant la participation d'agriculteurs. Ces travaux sont ainsi l'une des premières applications de l'éco-conception participative en agriculture.

L'objectif principal de ces travaux de thèse était ainsi d'identifier le type de démarche et les outils qui permettent d'appliquer l'éco-conception en viticulture, de les élaborer et de les tester. Au regard des enjeux de la filière concernant la qualité organoleptique du vin et donc du raisin, nous avons également intégré la qualité du raisin à la démarche. L'objet de conception que nous avons retenu est l'itinéraire technique viticole pour deux raisons : i) d'une part, il s'agit d'une échelle de décision importante pour le pilotage de la qualité du raisin ; ii) d'autre part, la phase de production du raisin peut contribuer de façon importante aux impacts du cycle de vie d'une bouteille de vin (voir Chapitre 1, Tableau 2) ; iii) enfin, les principaux défis pour la filière viti-vinicole concernent aujourd'hui essentiellement le changement de pratiques viticoles en réponse aux évolutions environnementales, réglementaires et sociétales. L'application de l'éco-conception en viticulture a donc abouti dans le cadre de cette thèse à la proposition d'une approche de conception originale : l'éco-quali-conception® participative d'itinéraires techniques viticoles. Le choix a ainsi été fait de faire reposer ce processus de conception sur une évaluation environnementale par ACV et sur la participation de viticulteurs et conseillers viticoles. Cette proposition de démarche nous a conduit à explorer les manières de rendre les résultats d'ACV d'itinéraires techniques utilisables dans le cadre d'ateliers participatifs avec des viticulteurs et des conseillers.

La démarche proposée a été appliquée à deux groupes de viticulteurs différents et engagés dans une démarche de réduction de l'utilisation des produits phytosanitaires. Dans chacun de ces groupes, l'activité de conception a été organisée en 3 ateliers de 3h correspondant chacun à des objectifs intermédiaires. L'objectif final du processus de conception consistait à améliorer les performances environnementales d'itinéraires techniques réalisés par certains viticulteurs du groupe au cours de l'année viticole 2015-2016. L'agrégation des indicateurs ACV d'impact mid-point a permis de faciliter la lecture des résultats lors des ateliers. La mise au point et l'utilisation d'un jeu sérieux composé d'un plateau de jeu et de cartes, reliés à un outil de calcul d'ACV instantané, ont permis de favoriser les échanges au cours des ateliers en permettant aux viticulteurs de matérialiser l'itinéraire technique éco-conçu et d'en évaluer les performances environnementales. Enfin, l'ensemble de la démarche a permis d'améliorer la performance environnementale de 4 des 5 itinéraires techniques étudiés.

Plusieurs choix méthodologiques ont été fixés pour définir les contours de la démarche à appliquer :

- 1) Le choix de l'objet de conception : l'itinéraire technique viticole.
- 2) Le choix des acteurs de la conception : chercheurs, viticulteurs et conseillers viticoles
- 3) Le choix de l'outil d'évaluation environnementale : l'ACV
- 4) Le choix du mode de participation : collaboratif

Chacun de ces choix est discuté dans la partie suivante et des perspectives de recherche seront définies pour chacun. Les usages possibles de la démarche seront ensuite discutés en termes de généralité et de transposition à d'autres contextes. Enfin, la contribution de la démarche à la transition agro-écologique sera discutée.

Contributions pour l'application de l'éco-conception en agriculture et perspectives

1. Intérêts et limites de l'itinéraire technique annuel comme objet de conception

L'itinéraire technique annuel a été défini comme objet de conception dans le cadre de la démarche. Cet objet s'est avéré être pertinent pour engager les participants dans les discussions sur les choix de pratiques. En effet, c'est un objet simple, que les participants maîtrisent bien et qui permet de restituer la logique des choix techniques mis en œuvre sur un cycle de production annuel.

Néanmoins, les participants ont exprimé quelques difficultés liées à ce choix et plus particulièrement l'échelle spatiale qu'il implique : la parcelle. Par exemple, les changements de matériel agricole ont été difficiles à envisager par certains viticulteurs en raison d'un manque d'éléments concernant la surface d'exploitation et la répartition géographique des parcelles. Elargir l'échelle de conception à l'échelle de l'exploitation permettrait d'intégrer des critères économiques et organisationnels et ainsi permettre de rapprocher l'exercice de conception des processus de décision des agriculteurs (Czyrnek-Delêtre et al. 2018).

De même, les participants ont exprimé des difficultés liées au choix de l'échelle temporelle annuelle. Par exemple, les participants ont souligné lors des discussions sur la fertilisation organique que celle-ci se définissait à l'échelle pluri-annuelle. Lors de la 1ère session d'ateliers, l'importance des choix faits au moment de la plantation avait également été soulignée. En viticulture et dans les systèmes de cultures pérennes de manière plus générale, on peut en effet distinguer des pratiques pérennes (fixes et choisies au moment de la plantation de la parcelle), semi-pérennes (fixées pour plusieurs années mais pouvant être modifiées) et annuelles (pratiques adaptées au cours du millésime selon le climat ou l'objectif de production) (Coulon 2012). De plus, les pratiques pérennes peuvent conditionner certains choix de pratiques annuelles (exemple : la largeur de rang peut définir la taille des machines agricoles utilisables dans la parcelle). Il pourrait donc être intéressant de mieux identifier, parmi les pratiques annuelles, celles qui sont conditionnées par les choix de pratiques pérennes. Cet exercice pourrait être réalisé soit pendant les ateliers pour établir un consensus sur le sujet, soit en amont afin de réaliser des apports de connaissances sur le sujet si nécessaire. Les viticulteurs pourraient alors, pendant le travail conception (atelier 2 en particulier), questionner la pertinence de certaines pratiques pérennes et semi-pérennes et proposer des changements de pratiques annuelles combinées à des changements de pratiques semi-pérennes ou pérennes. Nous pouvons faire l'hypothèse que cette évolution permettrait de concevoir des itinéraires techniques plus innovants car moins contraints par les choix antérieurs.

2. Limites liées au choix des acteurs et au mode de participation retenu

La démarche proposée a été appliquée avec deux groupes différents de viticulteurs déjà constitués et engagés dans une même démarche de réduction de l'utilisation de pesticides (groupes Déphy). Les participants, et en particulier les conseillers viticoles, ont identifié une complémentarité entre les activités habituelles du groupe et la démarche proposée. Si les pratiques discutées au cours de la démarche d'éco-quali-conception® sont sensiblement les mêmes que celles discutées habituellement dans le groupe, cette nouvelle démarche a permis selon eux un éclairage différent sur ces pratiques. En effet, l'évaluation multicritère et cycle de vie a permis de mettre en exergue certaines externalités peu mises en avant habituellement comme l'impact du désherbage mécanique sur le changement climatique ou l'impact de la production et du transport des fertilisants organiques. La démarche

pourrait ainsi s'appliquer à d'autres collectifs d'agriculteurs déjà constitués afin de leur apporter une vision multicritère et cycle de vie de l'impact environnemental des pratiques, complémentaire à leur réflexion. En revanche, l'application de la démarche pour initier une dynamique de réflexion collective paraît plus complexe. L'avantage de travailler avec des groupes déjà constitués était que les participants se connaissaient déjà. En effet, le niveau de détails de l'évaluation du cas d'étude et la nature des discussions qui abordaient parfois des pratiques qui ne font pas encore l'unanimité nécessitent un bon niveau de confiance au sein du groupe et du groupe envers leur conseiller technique. Dans le cas d'un nouveau groupe, il faudrait probablement ajouter des étapes à la démarche en amont de l'exercice de conception pour que les membres du groupe apprennent à se connaître et définissent un objectif commun.

Comme précisé en introduction, le mode de participation retenu est collégial pendant les ateliers de conception. Théoriquement, cela signifie que les participants, chercheurs inclus, prennent les décisions par accord ou consensus (cf. Chapitre 1, Table 1) . Cependant, les choix des critères et de la méthode d'évaluation étant fixés par les chercheurs, on peut considérer que le mode de participation est plutôt collaboratif à l'échelle de la démarche globale. Ce choix se justifie par l'importance de réduire l'impact environnemental des pratiques viticoles dans le contexte actuel et par la pertinence *a priori* de l'ACV au regard de cet objectif (voire aussi section 3.1 de ce chapitre). Néanmoins, une définition partagée des objectifs de conception et l'explicitation du choix pour l'utilisation de l'ACV avec les participants pourraient permettre une meilleure adhésion des participants et ainsi renforcer leur créativité. En effet, plusieurs travaux de conception en agriculture démarrent par la définition partagée d'une cible de conception *a priori* difficile à atteindre, aussi appelée concept-projecteur (Berthet et al. 2016; Reau et al. 2012). Il pourrait ainsi être intéressant de ne pas figer à l'avance l'objectif principal de conception (réduire l'impact environnementale) mais plutôt de le définir collectivement en fonction des problématiques des participants. Ainsi, cela pourrait conduire à l'identification d'autres indicateurs à considérer de manière égalitaire avec l'ACV voire prioritaire si tel est le choix du groupe. Ceci se rapprocherait ainsi d'un mode de participation collégial et pourrait permettre de concevoir des itinéraires techniques plus innovants car moins contraints par des objectifs et une méthode d'évaluation exogène.

Des approches ACV incluant les agriculteurs dès la 1^e phase de l'ACV, c'est-à-dire lors de la définition des objectifs et du périmètre d'étude, pourraient permettre une compréhension plus approfondie de la méthode ACV par les agriculteurs et un meilleur partage des objectifs. Les questions autour de certains choix méthodologiques importants (Unité Fonctionnelle, périmètre d'étude) pourraient ainsi être débattues avec les agriculteurs. Plus généralement, l'utilisation de l'ACV dans les démarches participatives en agriculture pose la question du niveau de connaissance sur la méthode ACV à partager avec les participants afin qu'ils soient informés de manière efficace sur la prise en compte de l'approche cycle de vie dans le choix des pratiques.

3. Intérêts et limites des méthodes et des critères d'évaluation retenus

3.1. Intérêt et limites de l'ACV tel qu'utilisé dans la démarche

L'ACV a été utilisée dans notre démarche pour évaluer les impacts environnementaux potentiels d'itinéraires techniques annuels à l'échelle de la parcelle viticole. Le choix de se concentrer sur les impacts de l'étape de production du raisin est en partie justifié par l'importante contribution de cette phase aux impacts du cycle de vie d'une bouteille de vin. Néanmoins, cette contribution est très variable selon les études (voir Chapitre 1, Table 2). Des résultats sur la répartition des impacts environnementaux entre les différentes étapes de production d'une bouteille de vin ont été présentés aux participants lors de la 2e session d'ateliers en réponse à leur demande. Il pourrait être intéressant d'intégrer systématiquement dans la démarche une ACV à l'échelle de la bouteille de vin, d'une part pour justifier auprès des participants l'intérêt ou non de focaliser sur la phase viticole et d'autre part pour pouvoir identifier des potentiels transferts d'impact. Cette ouverture pourrait conduire le groupe à élargir le cadre de conception aux autres étapes du cycle de vie d'une bouteille de vin, ce qui nécessiterait d'intégrer des participants ayant des connaissances sur les autres étapes du cycle de vie d'une bouteille de vin (œnologues, fabricants de bouteilles, négociants, distributeurs, etc.).

Par ailleurs, contrairement au cadre méthodologique utilisé pour l'évaluation des itinéraires techniques par Renaud-Gentié (2015), l'intégration des phases non-productives (i.e. plantation, les 3 premières années non-productives et l'arrachage) n'a pas pu être réalisée en raison de difficultés liées à la collecte des données. En effet, recueillir ces informations sur des pratiques ayant eu lieu il y a plusieurs années s'avère trop difficile à obtenir auprès des viticulteurs lors de la phase d'inventaire des pratiques. Le manque de données ou de fiabilité des données n'a donc pas permis d'intégrer ces éléments à l'évaluation et donc au processus de conception. Or, Renaud-Gentié (2015) a montré que ces phases contribuent de manière significative aux impacts de l'étape de production de raisins. De plus l'inclusion de ces phases permettrait de considérer des changements pratiques pérennes (voire section 1 de ce chapitre). Pour pallier à ces difficultés de collecte de données, l'inventaire des données des phases non-productives pourrait être basé sur des itinéraires techniques de phases non-productives récents ayant eu lieu sur la même exploitation ou être basé sur des itinéraires techniques « types » théoriques définis à partir de dires d'expert. Cette évolution permettrait de tester des scénarios avec différents choix de pratiques pérennes et les variations de l'itinéraire technique annuel qu'elles impliquent. Cette approche pourrait également permettre d'intégrer également la variabilité inter-annuelle des résultats d'ACV dans la filière viticole (Beauchet et al., 2018 ; Vázquez-Rowe et al., 2012). On pourrait ainsi envisager un exercice de conception où les participants commencent par choisir les pratiques pérennes qu'ils voudraient mettre en place. A partir de ces choix, ils pourraient imaginer différents itinéraires techniques annuels selon différents scénarii (ex : scénario année favorable vs. scénario année défavorable) et évaluer ces scénarios par ACV. Ceci nécessiterait de produire des scénarios climatiques basés sur des données météorologiques régionales.

En lien avec le changement d'échelle discuté précédemment, d'autres échelles d'application de l'ACV peuvent être envisagées pour éco-concevoir des systèmes agricoles. Tout d'abord, l'ACV d'itinéraires techniques pourrait être utilisée pour évaluer les impacts à une échelle multi-parcellaire (Czyrnek-Delêtre et al., 2018). A l'échelle de l'exploitation, l'utilisation de l'ACV organisationnelle (Martínez-Blanco et al. 2015) pourrait permettre d'intégrer l'ensemble des activités de l'exploitation et donc

d'identifier des priorités environnementales complémentaires à l'approche produit. A l'échelle du territoire, l'application de l'ACV territoriale (Loiseau et al. 2013) pourrait permettre d'identifier les principaux enjeux environnementaux d'un territoire en incluant d'autres activités que la viticulture. Ces différents changements d'échelle de conception pourraient permettre d'inclure d'autres acteurs dans le processus d'éco-conception et de concevoir d'autres objets (domaine viticole, bouteille de vin, cahier des charges,...).

L'utilisation de l'ACV comporte toutefois des limites pour évaluer les impacts environnementaux de certaines pratiques viticoles. Concernant les émissions de pesticides vers l'environnement, les connaissances scientifiques actuelles ne permettent pas de modéliser la dégradation des substances actives émises et l'impact de ces molécules de dégradation sur l'environnement. Ces molécules de dégradation sont encore mal connues et leurs processus de dégradation sont complexes, notamment car ils sont dépendants des conditions de climat et de sol. L'ACV manque également encore de précision pour l'évaluation des impacts des pesticides à base de métaux (ex : cuivre) sur les catégories d'impact écotoxicité aquatique et écotoxicité terrestre. Les impacts des émissions de cuivre en particulier ne sont pas caractérisés de manière adéquate par les modèles existants en ACV (Peña et al. 2017 ; Viveros-Santos et al. 2018). Intégrer ces nouvelles connaissances et donc préciser les impacts de l'utilisation du cuivre en viticulture (à l'aide de nouveaux modèles d'émission et de caractérisation) apparaît nécessaire au regard de l'impact actuel du cuivre dans nos résultats d'ACV et de la surestimation potentielle de cet impact.

La pondération des catégories d'impacts afin d'obtenir visuellement un impact unique a permis de simplifier la lecture des résultats pour les participants lors des ateliers. Les facteurs de pondérations avaient été définis pour paramétrer la méthode CONTRA-Qualenvic (Beauchet 2016 ; Botreau et al. 2018). Ces pondérations définies par un panel d'experts donnent un poids important aux catégories d'impacts « Changement Climatique » et « Ecotoxicité terrestre ». Parmi les cas étudiés, la consommation de carburant est parmi les principaux contributeurs pour l'impact changement climatique et les émissions de cuivre liées à l'application de fongicides à base de cuivre est le principal contributeur pour l'impact écotoxicité terrestre à chaque fois que ce type de produit utilisé. Ces deux intrants étant généralement plus utilisés en agriculture biologique qu'en viticulture conventionnelle, la pondération utilisée désavantage les itinéraires techniques en agriculture biologique. Des alternatives à la pondération peuvent être envisagées pour simplifier la lecture des résultats pour les participants. D'une part, l'utilisation de méthodes de caractérisation end-point pourrait permettre de réduire le nombre d'indicateurs tout en incluant l'ensemble de la chaîne de cause à effet entre extractions de ressources, émissions de polluants vers l'environnement et dommages sur les aires de protection de l'environnement (écosystèmes, santé humaine, ressources). D'autre part, une phase de sélection des indicateurs qui seront utilisés au cours de la démarche pourrait être intégrée à la démarche. Cette sélection ne doit cependant pas empêcher d'évaluer les autres indicateurs en dehors des ateliers et d'identifier des indicateurs qui seraient importants à utiliser malgré qu'ils ne soient pas identifiés comme un enjeu important par les participants.

L'unité fonctionnelle représente un choix méthodologique important de toute étude ACV car il s'agit de choisir l'unité qui représente le mieux la fonction du système étudié. Pour la démarche proposée, le choix d'une unité fonctionnelle à l'hectare a été retenu. Ce choix reflète principalement la fonction d'occupation, de gestion et d'entretien de l'espace d'un système agricole, mais il représente mal sa fonction principale: la production. L'utilisation d'une unité fonctionnelle au kilogramme est la plus répandue dans les ACV des produits alimentaires (van der Werf et al. 2014). Pour utiliser cette unité

fonctionnelle dans la démarche proposée, il faudrait prendre une hypothèse de rendement pour chaque itinéraire technique éco-conçu pendant les ateliers. La plus simple serait de considérer un rendement identique à celui obtenu dans le cas réel. Mais certaines pratiques, les plus en rupture bien souvent, entraînent une réduction de rendement qu'il est difficile d'estimer avec précision. Or une réduction de rendement si elle s'accompagne d'une réduction des coûts (ex. main d'œuvre, intrants) ou d'une meilleure valorisation (ex. conversion en agriculture biologique) peut être acceptable par le viticulteur. Dans ces cas-là, l'utilisation de l'unité fonctionnelle au kg pourrait venir biaiser l'interprétation des résultats car elle favorise les systèmes intensifs. Par exemple, la comparaison entre agriculture conventionnelle et agriculture biologique (AB) n'est pas toujours favorable à l'AB lorsque les résultats sont exprimés par kg de produit (Gac et al. 2018) alors qu'un consensus important montre que l'AB a des impacts environnementaux par unité de terre occupé plus faibles que l'agriculture conventionnelle (Meier et al. 2015; Tuomisto et al. 2012).

Enfin, l'approche proposée pourrait être enrichie par la réalisation d'analyses de sensibilité et d'incertitudes. Réalisées en amont des ateliers, les analyses d'incertitude permettraient d'identifier les résultats les plus robustes tandis que les analyses de sensibilité permettraient d'identifier les leviers d'éco-conception les plus intéressants.

3.2. Utilisation d'indicateurs complémentaires au cours de la démarche

Suite à la première session et aux demandes des participants, des indicateurs environnementaux complémentaires ont été intégrés dans la démarche. Ces indicateurs concernent principalement l'utilisation des pesticides. La présence de produits classés CMR a été identifiée dans les calendriers de traitements des itinéraires techniques étudiés afin d'intégrer un indicateur simple lié à la toxicité humaine. Cette identification a conduit les participants à bannir systématiquement tous les produits CMR des itinéraires techniques éco-conçus. La méthode de caractérisation USEToxTM (utilisée pour évaluer les impacts du système sur l'écotoxicité aquatique) contient également un indicateur de toxicité humaine. Elle aurait donc pu être utilisée pour évaluer cet impact. Cependant, en raison de l'indisponibilité des facteurs de caractérisation pour une grande partie des substances actives utilisées en viticulture, elle n'a pas été prise en compte. De plus, elle ne permet pas de prendre en compte spécifiquement les impacts sur la santé de l'applicateur du produit. Limiter l'utilisation de produits CMR apparaît donc comme la solution la plus efficace pour limiter l'impact de l'utilisation des pesticides sur la santé de l'applicateur mais aussi du voisinage. L'Indice de Fréquence de Traitement (IFT) a également été intégré pour une évaluation ex-post des ITK éco-conçus car il s'agit du principal indicateur utilisé dans le cadre de la démarche Ecophyto pour évaluer la réduction de l'utilisation des pesticides. La comparaison entre l'évolution de ces deux indicateurs et l'évolution des performances ACV entre l'ITK de référence et l'ITK éco-conçu a conduit à des discussions intéressantes sur les différences et la valeur que l'on peut attribuer à chacun de ces indicateurs.

Des indicateurs économiques et sociaux ont également pu être intégrés à l'issue de l'atelier 2 de la 2e session (cette session étant incluse dans le projet ECO3VIC dont l'objectif général est d'identifier les freins et leviers au changement de pratiques en viticulture). Ces indicateurs simples sur l'évolution du coût par hectare et de la charge de travail pour chaque ITK éco-conçu ont permis une évaluation grossière de la faisabilité économique des ITK. Néanmoins, des indicateurs plus complets et à l'échelle de l'exploitation permettraient aux participants de mieux identifier les freins et leviers économiques à lever pour la mise en place de ces itinéraires techniques.

4. Intégration de la qualité du raisin au processus de conception

L'intégration de la qualité au processus de conception a été réalisée lors de la 3e et dernière phase de la démarche, après les 2 premières phases permettant l'éco-conception des itinéraires techniques étudiés. Cette intégration a consisté en une évaluation de l'impact potentiel sur la qualité des changements de pratiques proposés à l'issue des deux premières phases. Celle-ci s'est basée sur la construction d'un consensus entre participants sur le lien pratiques-qualité lors d'un atelier complet. Cette évaluation a abouti au même résultat pour l'ensemble des ITK étudiés : aucun des changements de pratiques proposés n'a d'impact décisif sur la qualité du raisin produit. Ce résultat tend à montrer que les participants auraient intégré ce critère de manière implicite lors du processus d'éco-conception.

Toutefois, ce résultat peut aussi s'expliquer par le fait que les itinéraires techniques annuels ont principalement un rôle correctif et qu'ils n'ont pas un rôle décisif dans la construction de la qualité du raisin. En effet, les conditions du milieu (sol, climat...) et les pratiques pérennes (choix du matériel végétal, densité de plantation, etc.) sont les éléments qui ont le plus de poids dans la construction de la qualité du raisin (Carbonneau et al. 2007; Coulon 2012). En se basant sur l'approche de conception à partir des pratiques pérennes (proposée ci-dessus, voir 3.1), l'évaluation de la qualité pourrait être intégrée plus en amont dans le processus de conception en se basant sur la définition de qualités potentielles à partir des pratiques pérennes. De plus, l'échelle de la parcelle est souvent insuffisante pour évaluer la qualité des productions (Nesme et al. 2010). Par exemple, concernant l'état sanitaire, les éléments du paysage, la répartition géographique des cultures et des pratiques culturelles ainsi que la biodiversité fonctionnelle influencent grandement la propagation des maladies et ravageurs (Nesme et al. 2010)

Il faut également noter que cette évaluation s'est basée sur une évaluation limitée à 3 indicateurs de qualité définis à partir des critères utilisés par la cave coopérative (dont sont issus tous les membres du groupe) : la maturité technologique, la maturité phénolique et l'état sanitaire. Le choix de ces indicateurs répond avant tout à un souci de proposer une définition proche de celle partagée par les participants afin qu'ils se concentrent sur l'explication du lien entre les pratiques et ces indicateurs. Les approches d'évaluation de la qualité sont habituellement réalisées à partir de données physico-chimiques mesurées sur des échantillons de raisin et/ou des données sensorielles obtenues à partir de panels de dégustateurs. Ces approches permettent une évaluation plus précise de la qualité après récolte mais ne permettent pas une évaluation *a priori* de la qualité du raisin en réponse à un changement de pratique.

5. Contribution à la transition agro-écologique en viticulture

Notre travail se situe dans un contexte récent de possibilité d'intégration de mesures agroécologiques dans les cahiers des charges des AOC (Décret en mars 2016). Le guide de l'agroécologie en viticulture publié par l'Institut Français de la Vigne et du Vin (IFV) identifie 8 mesures agro-environnementales à intégrer aux cahiers des charges des appellations françaises (Van Ruyskensvelde et al. 2017) :

- 1) L'obligation d'enherbement du contour des parcelles,
- 2) L'interdiction du désherbage chimique en plein des parcelles de vigne,
- 3) L'enherbement des vignes,
- 4) L'amélioration de l'efficacité du matériel de pulvérisation,

- 5) La réduction des quantités de produits phytosanitaires,
- 6) La limitation des apports d'azote minéral de synthèse,
- 7) La préservation des murets, bosquets, terrasses...
- 8) Les conditions du respect de la séquence morphologique originelle des sols.

Notre démarche a contribué à explorer 5 de ces mesures (interdiction du désherbage chimique en plein des parcelles de vigne, enherbement des vignes, amélioration de l'efficacité du matériel de pulvérisation, réduction des quantités de produits phytosanitaires, limitation des apports d'azote minéral de synthèse). Elle permet donc d'apporter des éléments d'objectivation sur les performances environnementales de ces pratiques et d'aider la prise de décision par les viticulteurs ou les collectifs de viticulteurs. L'exploration des autres mesures nécessiterait une meilleure prise en compte des infrastructures écologiques (murets, bosquets, haies, enherbement du contour des parcelles,...) et une meilleure prise en compte du maintien de la biodiversité et notamment de son interaction avec la vigne et les pratiques viticoles. Notre démarche ne permet pas pour l'instant la prise en compte de la biodiversité et des services écosystémiques qui sont des enjeux importants en viticulture et plus largement en agriculture. Des méthodologies et indicateurs ont été développés ces dernières années et pourraient aujourd'hui être intégrés de manière complémentaire dans les ACV sur les systèmes agricoles (Chaudhary et al. 2015; Gac et al. 2018; Knudsen et al. 2017). La plupart de ces indicateurs permettent d'évaluer l'impact sur la biodiversité à l'échelle d'une exploitation, leur utilisation dans la démarche nécessiterait donc de concevoir un système agricole à cette échelle.

Les services éco-systémiques et l'utilisation de la biodiversité fonctionnelle sont notamment évoqués comme des leviers intéressants pour réduire l'utilisation des produits phytosanitaires. Ces pratiques n'ont cependant pas du tout été évoquées par les viticulteurs au cours de nos ateliers. Il serait néanmoins intéressant de pouvoir évaluer par ACV l'impact des pratiques de maintien d'une biodiversité fonctionnelle sur une parcelle ou un territoire. Cette approche est en cours dans le cadre du projet AVATEC, piloté par l'unité Grappe et réalisé sur plusieurs territoires d'AOC en Anjou.

Perspectives de recherche

1. Continuité des travaux au sein de l'USC GRAPPE

1.1. Poursuite des travaux de recherche-action sur l'éco-conception des systèmes viticoles

La démarche proposée dans le cadre de cette thèse constitue une base pour les travaux de recherche-action en éco-conception de systèmes viticoles de l'équipe. La démarche a ainsi été adaptée pour une session d'ateliers en cours incluant l'échelle de l'exploitation dans le cadre du projet de recherche ECO3VIC (Czyrnek-Delêtre et al. 2018). D'autres applications de l'éco-conception en viticulture sont envisagées dans le cadre des projets Avatec et Domecco où l'USC GRAPPE est respectivement pilote et partenaire. Dans Avatec, il s'agira de mettre en place une démarche pour accompagner des producteurs dans les changements de pratiques à l'échelle d'un territoire d'AOC. Dans Domecco, il s'agira de construire une dynamique collective de transition agro-écologique dans le cadre de la démarche RSE de la filière Cognac.

1.2. Transfert de la démarche pour une utilisation par les conseillers

L'objectif de ces travaux de recherche est de rendre transférable une partie de cette démarche aux conseillers viticoles de chambre d'agriculture ou de caves coopératives. C'est pourquoi la démarche a été menée en partenariat avec des groupes existants et animés par des conseillers viticoles. La démarche issue de ces travaux de thèse est encore difficile à transmettre en raison de la complexité des outils utilisés pour réaliser les ACV des ITKs de référence et des pratiques alternatives (logiciel d'ACV). De plus, la démarche telle que mise en place nécessite une forte mobilisation de personnes et d'expertises en nombre et en temps pour animer les différents sous-groupes (1 chercheur en ACV et agronomie pour chaque sous-groupe), pour assister les animateurs dans le bon déroulement des ateliers (2 personnes) et pour préparer chaque atelier (voir Table 24). L'utilisation d'un outil d'ACV simplifié (VitLCA par exemple (Renouf et al. 2018) pourrait permettre d'envisager, après formation, une utilisation autonome par un conseiller.

Table 24 : Temps de préparation passé avant chaque phase de la démarche pour chacune des sessions d'ateliers.

	Phase A	Phase B	Phase C
Session 1	390 h	581 h	N/A
Session 2	357 h	385 h	160 h

1.3. Transfert pour la formation et la sensibilisation de différents publics

Les ateliers ont permis la création d'un prototype de jeu sérieux qui pourrait être adapté pour d'autres utilisations. Le développement d'un jeu sérieux à destination de la formation initiale des étudiants dans le secteur agricole, des conseillers viticoles et du grand public est envisagé. L'objectif serait de sensibiliser aux enjeux environnementaux des pratiques agricoles et de permettre aux étudiants, conseillers et au grand public de comprendre les différents degrés de performance environnementale possibles, d'identifier les principaux leviers d'éco-conception et les contraintes de changement auxquelles les viticulteurs peuvent être confrontés.

1.4. Poursuite des travaux sur l'évaluation des systèmes viticoles par ACV

Les travaux sur l'évaluation des systèmes viticoles se poursuivent également. L'implication de l'équipe dans le projet ACV Bio en est un exemple. Ce projet vise à produire des données d'ICV et

d'ACV des produits agricoles français issus de l'agriculture biologique et d'identifier les travaux à réaliser pour l'utilisation d'indicateurs complémentaires à l'ACV.

La démarche proposée aura également permis au fil des ateliers de faire un inventaire des pratiques actuelles et à venir en viticulture, de leurs impacts sur l'environnement ainsi qu'un inventaire des critères de changement importants pour les participants des ateliers. Une BDD recensant actuellement plus de 400 pratiques viticoles et leur impact environnemental a été constituée par l'équipe, alimentée en grande partie par le travail de thèse.

2. Pistes pour introduire plus d'ACV dans les approches de conception innovantes

D'autres approches pour appliquer l'éco-conception en agriculture sont également envisageables.

Des approches similaires à celles appliquées en conception de novo de systèmes agricoles peuvent être envisagées (Reau et al. 2012). Ces approches visent à concevoir des systèmes très innovants, en rupture avec les systèmes actuels. Dans ces approches, l'évaluation des systèmes conçus intervient souvent plus tard dans le processus de conception. A notre connaissance, aucune de ces approches n'a intégré une évaluation complète par ACV des systèmes prototypés. L'ACV pourrait donc intervenir dans ces approches pour évaluer les performances environnementales des systèmes conçus en atelier. Des difficultés liées au caractère innovant des systèmes conçus dans ces démarches peuvent cependant être un frein à l'utilisation de l'ACV dans ces démarches. En effet, de la même manière que certaines pratiques innovantes ont été difficiles à évaluer au cours de la démarche proposée en raison d'un manque de données, on peut imaginer que le manque de données précises disponibles sur ces systèmes à peine conçus pourrait rendre l'évaluation par ACV de système difficile voire impossible.

Par ailleurs, l'évaluation des pratiques innovantes peut être rendue difficile en raison du manque de données. Il serait ainsi intéressant d'explorer les travaux menés sur l'évaluation par ACV de prototypes industriels (Frischknecht et al. 2009) pour identifier comment les incertitudes liées à des pratiques très innovantes peuvent être prises en compte dans leur évaluation.

Références

- 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.: L'Université Bretagne Loire.
- Beauchet S, Rouault A, Thiollet-Scholtus M, Renouf M, Jourjon F, Renaud-Gentié C (2018) Inter-annual variability in the environmental performance of viticulture technical management routes—a case study in the Middle Loire Valley (France). *The International Journal of Life Cycle Assessment*.
- Berthet E T, Barnaud C, Girard N, Labatut J, Martin G (2016) How to foster agroecological innovations? A comparison of participatory design methods. *Journal of Environmental Planning and Management*;59(2):280-301.
- 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*.
- Carbonneau A, Deloire A, Jaillard B (2007) *La vigne: physiologie, terroir, culture*. Dunod.
- Chaudhary A, Verones F, de Baan L, Hellweg S (2015) Quantifying land use impacts on biodiversity: combining species–area models and vulnerability indicators. *Environmental Science & Technology*;49(16):9987-9995.
- Coulon C (2012) 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: Université d'Angers.
- Czyrnek-Delêtre M M, Jourjon F, Perrin A, Renaud-Gentié C, van der Werf H M G (2018) From the field to the farm - scaling up life cycle assessment towards eco-design at farm-level. 11th International Conference on Life Cycle Assessment of Food 2018 (LCA Food). Bangkok, Thailand.
- Frischknecht R, Büsser S, Krewitt W (2009) Environmental assessment of future technologies: how to trim LCA to fit this goal? *The International Journal of Life Cycle Assessment*;14(6):584-588.
- Gac A, Sautereau N, Van der Werf H M G (2018) Les indicateurs complémentaires à l'Analyse du Cycle de Vie pour l'évaluation environnementale des systèmes en agriculture biologique.
- Knudsen M T, Hermansen J E, Cederberg C, Herzog F, Vale J, Jeanneret P, Sarthou J-P, Friedel J K, Balázs K, Fjellstad W (2017) Characterization factors for land use impacts on biodiversity in life cycle assessment based on direct measures of plant species richness in European farmland in the 'Temperate Broadleaf and Mixed Forest' biome. *Science of The Total Environment*;580:358-366.
- Loiseau E, Roux P, Junqua G, Maurel P, Bellon-Maurel V (2013) Adapting the LCA framework to environmental assessment in land planning. *The International Journal of Life Cycle Assessment*;18(8):1533-1548.
- Martínez-Blanco J, Inaba A, Quiros A, Valdivia S, Milà-i-Canals L, Finkbeiner M (2015) Organizational LCA: the new member of the LCA family—introducing the UNEP/SETAC Life Cycle Initiative guidance document. *The International Journal of Life Cycle Assessment*;20(8):1045-1047.

- Meier M S, Stoessel F, Jungbluth N, Juraske R, Schader C, Stolze M (2015) Environmental impacts of organic and conventional agricultural products – Are the differences captured by life cycle assessment? *Journal of Environmental Management*;149:193-208.
- Nesme T, Lescourret F, Bellon S, Habib R (2010) Is the plot concept an obstacle in agricultural sciences? A review focussing on fruit production. *Agriculture, Ecosystems & Environment*;138(3):133-138.
- Peña N, Antón A, Kamilaris A, Fantke P (2017) Modeling ecotoxicity impacts in vineyard production: Addressing spatial differentiation for copper fungicides. *Science of The Total Environment*.
- Reau R, Monnot L-A, Schaub A, Munier-Jolain N, Pambou I, Bockstaller C, Cariolle M, Chabert A, Dumans P (2012) Les ateliers de conception de systèmes de culture pour construire, évaluer et identifier des prototypes prometteurs. *Innovations agronomiques*;20:5-33.
- Renaud-Gentié C (2015) 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, application aux itinéraires techniques de production de raisins de Chenin blanc pour vins blancs secs d'AOC en Moyenne Vallée de la Loire: Université Nantes-Angers-Le Mans.
- Renouf M, Renaud-Gentié C, Perrin A, Garrigues-Quéré E, Rouault A, Julien S, Jourjon F (2018) VitLCA, un nouvel outil pour tester les améliorations environnementales en viticulture. *Revue suisse de viticulture, arboriculture et horticulture*;50(3):168-173.
- Tuomisto H L, Hodge I, Riordan P, Macdonald D W (2012) Does organic farming reduce environmental impacts?—A meta-analysis of European research. *Journal of Environmental Management*;112:309-320.
- van der Werf H M G, Garnett T, Corson M S, Hayashi K, Huisingsh D, Cederberg C (2014) Towards eco-efficient agriculture and food systems: theory, praxis and future challenges. *Journal of Cleaner Production*;73:1-9.
- Van Ruyskensvelde J-P, Herbin C, Audeguin L, Aveline N, Bouvier M, Cahurel J-Y, Cailleau R, Chantelot E, Codis S, Delpuech X, Dufour M-C, Dufourcq T, Gaviglio C, Gontier L, Le Cunff L, Lempereur V, Payan J-C, Petit A, Raynal M, Riou C, Rochard J, Sentenac G, Verges A, Schio L, Boy A, Gautier J (2017) Guide de l'Agroécologie en Viticulture.
- Vázquez-Rowe I, Villanueva-Rey P, Moreira M T, Feijoo G (2012) Environmental analysis of Ribeiro wine from a timeline perspective: Harvest year matters when reporting environmental impacts. *Journal of Environmental Management*;98:73-83.
- Viveros Santos I, Bulle C, Levasseur A, Deschênes L (2018) Regionalized Terrestrial Ecotoxicity Assessment of Copper-Based Fungicides Applied in Viticulture. Vol. 10. 2522 p.

CONCLUSION GENERALE

Le principal objectif de ces travaux de thèse était d'identifier quel type de démarche et quels outils permettent l'éco-quali-conception® collective d'itinéraires techniques viticoles. Une démarche participative d'éco-quali-conception® a ainsi été testée avec deux groupes de viticulteurs accompagnés de leurs conseillers. Le type de démarche retenu est ainsi une démarche de conception de type « pas à pas », c'est à dire visant à inscrire les participants dans une transition progressive vers des systèmes innovants. La démarche est centrée autour de l'Analyse du Cycle de Vie (ACV), outil d'évaluation environnementale parmi les plus exhaustifs qui existent puisqu'il permet de quantifier les effets d'un système sur plusieurs catégories d'impact environnementaux tout en intégrant la pensée cycle de vie.

Nos résultats ont tout d'abord permis de lever des verrous méthodologiques liés à l'utilisation de résultats d'ACV dans une démarche participative. Ils ont ainsi permis de proposer un mode de restitution des résultats d'ACV facilitant l'identification des liens entre pratiques et impacts environnementaux. Ils ont également permis de montrer comment les résultats d'ACV peuvent être rendus manipulables pour un exercice d'éco-conception participatif. L'ensemble des outils créés pour les ateliers pourront ainsi servir de base pour la création d'un « serious game » à destination de la formation agricole et du grand public. Nos travaux ont également permis de proposer une démarche de conception qui alimente les réflexions des viticulteurs sur les impacts environnementaux de leurs pratiques et sur les changements à envisager. L'approche participative a ainsi permis d'intégrer des critères complémentaires à l'ACV qui contribuent à la fois à l'identification des freins et leviers liés aux changements de pratiques proposés et l'intégration de certains aspects environnementaux d'intérêt pour les participants et non évalués par l'ACV. Elle a également permis de discuter et d'évaluer certains changements de pratiques non prioritaires au regard des résultats d'ACV.

L'intégration de la qualité dans la démarche a été réalisée en aval de l'éco-conception d'itinéraires techniques viticoles en s'appuyant sur l'expertise du groupe de viticulteurs. Cette intégration pourrait intervenir plus en amont dans le processus de conception en intégrant par exemple les pratiques pérennes et semi-pérennes dans les limites du système conçu et évalué. D'autre part, l'approche d'éllicitation des connaissances développée dans la démarche pourrait être améliorée en se basant sur la description du lien entre les pratiques et les notions de vigueur et de précocité (Coulon 2012). Ceci permettrait de renforcer la pertinence du concept d'éco-quali-conception® pour l'application de l'éco-conception en viticulture.

Plusieurs perspectives peuvent être envisagées à partir de ces travaux. Tout d'abord, l'échelle considérée dans ces travaux (itinéraire technique) a révélé quelques difficultés pour envisager certains changements de pratiques. Des approches à l'échelle multi-parcellaire, à l'échelle de l'exploitation ou à l'échelle d'un territoire peuvent ainsi être envisagées. L'échelle de l'exploitation peut être particulièrement intéressante pour rapprocher l'exercice de conception des processus de décision habituels des viticulteurs. Ce changement d'échelle peut également concerner un élargissement du système aux autres étapes de la production d'une bouteille de vin. Les travaux ici présentés se sont focalisés sur la conception et l'évaluation d'itinéraires techniques de production de raisin. Les itinéraires techniques œnologiques pourraient être intégrés à l'évaluation de départ (itinéraire de référence) mais aussi pour la phase de conception.

Par ailleurs, l'objectif principal de conception étant l'amélioration globale des performances environnementales, l'évaluation d'ITK par ACV tient un rôle central dans la démarche proposée puisqu'elle permet à elle seule d'évaluer si l'objectif a été atteint. Or, les participants ne sont pas intervenus sur les modalités d'utilisation de l'ACV dans la démarche et n'ont été sollicités qu'au moment de la phase d'interprétation des résultats de la méthodologie ACV (ISO 2006a). Plusieurs autres modes de participation et d'utilisation de l'ACV pourraient être imaginés pour impliquer d'avantage les participants dans la réalisation des ACV. De plus, l'intégration d'une phase de partage et de définition des objectifs de conception pourrait permettre une plus forte adhésion des participants, renforcer leur créativité et favoriser une mise en place effective des changements de pratiques discutés. Cette phase pourrait par exemple consister à faire participer les agriculteurs à la 1^e phase de la méthodologie ACV (Définition des objectifs et du champ de l'étude (ISO 2006a, b)).

Enfin, ces travaux contribuent à un nouveau champ de recherche : l'éco-conception appliquée aux systèmes de production agricoles. Des démarches initiées par les entreprises de l'industrie agro-alimentaire existent mais restent très peu documentées (Bertoluci and Trystram 2013; Pôle Eco-conception 2016). Ce champ de recherche pose ainsi de nombreuses questions sur les modes d'implication et de participation des acteurs de la production agricole, sur les modalités de la conception et de l'évaluation des systèmes conçus et sur les modes de transfert des connaissances agronomiques et environnementales dans ce type de démarche.

REFERENCES

- Acosta-Alba I, Andrieu N, Chia E** (2018) *LCA4CSA: Using life cycle assessment to support co-designing climate-smart smallholder farming systems*. In: Rattanawan Mungkung, S.H.G., editor. International Conference on Life Cycle Assessment of Food 2018 (LCA Food). Bangkok, Thaïlande: Life Cycle Assessment p. 153-153.
- ADEME** (modified 2018) *Les impacts de notre alimentation sur l'environnement - ADEME*; cited 2018]. Available from: <https://www.ademe.fr/en/particuliers-eco-citoyens/dossiers-comprendre/dossier/alimentation-environnement-cest-quoi-rapport/impacts-alimentation-lenvironnement>
- AgenceBio** (2017) *La Bio Dans l'Union Européenne*.
- Alaphilippe A, Simon S, Brun L, Hayer F, Gaillard G** (2013) *Life cycle analysis reveals higher agroecological benefits of organic and low-input apple production*. *Agronomy for sustainable development*;33(3):581-592.
- Alim'Agri** (2017) *Étude prospective sur les comportements alimentaires de demain et élaboration d'un dispositif de suivi des principales tendances de consommation à destination des entreprises de la filière alimentaire*. Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation.
- Altieri M A** (1989) *Agroecology: A new research and development paradigm for world agriculture*. *Agriculture, Ecosystems & Environment*;27(1):37-46.
- Altieri M A** (2004) *Linking ecologists and traditional farmers in the search for sustainable agriculture*. *Frontiers in Ecology and the Environment*;2(1):35-42.
- Andersson K** (2000) *LCA of food products and production systems*. *The International Journal of Life Cycle Assessment*;5(4):239-248.
- Audsley E, Alber S, Clift R, Cowell S, Crettaz P, Gaillard G, Hausheer J, Jolliet O, Kleijn R, Mortensen B** (1997) *Harmonisation of environmental life cycle assessment for agriculture*. Final Report, Concerted Action AIR3-CT94-2028 European Commission, DG VI Agriculture;139.
- Balafoutis A, Koundouras S, Anastasiou E, Fountas S, Arvanitis K** (2017) *Life Cycle Assessment of Two Vineyards after the Application of Precision Viticulture Techniques: A Case Study*. *Sustainability*;9(11):1997.
- Barbier J M, Constant N, Davidou L, Deliere L, Guisset M, Jacquet O, Lafond D, Panon M-L, Sauvage D** (2011) *CEPviti: co-conception de systèmes viticoles économes en produits phytosanitaires*.
- Barreteau O, Bots P W G, Daniell K A** (2010) *A Framework for Clarifying "Participation" in Participatory Research to Prevent its Rejection for the Wrong Reasons*. *Ecology and Society*;15(2).
- Barzman M, Dachbrodt-Saaydeh S** (2011) *Comparative analysis of pesticide action plans in five European countries*. *Pest Management Science*;67(12):1481-1485.
- Basset-Mens C, van der Werf H M G** (2005) *Scenario-based environmental assessment of farming systems: the case of pig production in France*. *Agriculture, Ecosystems & Environment*;105(1):127-144.
- Baumann H, Boons F, Bragd A** (2002) *Mapping the green product development field: engineering, policy and business perspectives*. *Journal of Cleaner Production*;10(5):409-425.
- 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.*: L'Université Bretagne Loire.

- Beauchet S, Rouault A, Thiollet-Scholtus M, Renouf M, Jourjon F, Renaud-Gentié C** (2018) *Inter-annual variability in the environmental performance of viticulture technical management routes—a case study in the Middle Loire Valley (France)*. The International Journal of Life Cycle Assessment.
- Bedos C, Cellier P, Calvet R, Barriuso E, Gabrielle B** (2002) *Mass transfer of pesticides into the atmosphere by volatilization from soils and plants: overview*. Agronomie;22(1):21-33.
- Benedetto G** (2013) *The environmental impact of a Sardinian wine by partial Life Cycle Assessment*. Wine Economics and Policy;2(1):33-41.
- Berentsen P, Giesen G** (1995) *An environmental-economic model at farm level to analyse institutional and technical change in dairy farming*. Agricultural Systems;49(2):153-175.
- Bergez J E, Colbach N, Crespo O, Garcia F, Jeuffroy M H, Justes E, Loyce C, Munier-Jolain N, Sadok W** (2010) *Designing crop management systems by simulation*. European Journal of Agronomy;32(1):3-9.
- Berthet E T, Barnaud C, Girard N, Labatut J, Martin G** (2016) *How to foster agroecological innovations? A comparison of participatory design methods*. Journal of Environmental Planning and Management;59(2):280-301.
- Bertoluci G, Trystram G** (2013) *Eco-concevoir pour l'industrie alimentaire: quelles spécificités?* Marché et organisations (1):123-135.
- Bessou C, Basset-Mens C, Tran T, Benoist A** (2013) *LCA applied to perennial cropping systems: a review focused on the farm stage*. The International Journal of Life Cycle Assessment;18(2):340-361.
- Blair B, Carter T, inventors; United States Patent Application assignee^assignees. Product development process. United States. 2003.
- Bockstaller C, Guichard L, Makowski D, Aveline A, Girardin P, Plantureux S** (2008) *Agri-environmental indicators to assess cropping and farming systems. A review*. Agronomy for sustainable development;28(1):139-149.
- Boks C** (2006) *The soft side of ecodesign*. Journal of Cleaner Production;14(15):1346-1356.
- Boks C, McAlloone T C** (2009) *Transitions in sustainable product design research*. International Journal of Product Development;9(4):429-449.
- Bos A P** (2008) *Instrumentalization Theory and Reflexive Design in Animal Husbandry*. Social Epistemology;22(1):29-50.
- Bos B, Koerkamp P G** (2009) *Synthesising needs in system innovation through structured design: a methodical outline of the role of needs in reflexive interactive design (RIO)*. In: Poppe, K.J.; Termeer, C.; Slingerland, M., editors, *Transitions toward sustainable agriculture and food chains in peri-urban areas*: Wageningen Academic Publishers; p. 312.
- Botonaki A, Tsakiridou E** (2004) *Consumer response evaluation of a Greek quality wine*. Food Economics-Acta Agriculturae Scandinavica, Section C;1(2):91-98.
- 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.
- Bravdo B A** (2001) *Effect of cultural practices and environmental factors on fruit and wine quality*. Agriculturae Conspectus Scientificus;66(1):13-20.
- Brentrup F, Küsters J, Kuhlmann H, Lammel J** (2004) *Environmental impact assessment of agricultural production systems using the life cycle assessment methodology: I. Theoretical concept of a LCA method tailored to crop production*. European Journal of Agronomy;20(3):247-264.

- Brown L, Scholefield D, Jewkes E C, Lockyer D R, del Prado A** (2005) *NGAUGE: A decision support system to optimise N fertilisation of British grassland for economic and environmental goals*. *Agriculture, Ecosystems & Environment*;109(1):20-39.
- Butler S J, Vickery J A, Norris K** (2007) *Farmland Biodiversity and the Footprint of Agriculture*. *Science*;315(5810):381-384.
- Cabidoche Y M, Achard R, Cattan P, Clermont-Dauphin C, Massat F, Sansoulet J** (2009) *Long-term pollution by chlordecone of tropical volcanic soils in the French West Indies: A simple leaching model accounts for current residue*. *Environmental Pollution*;157(5):1697-1705.
- Cabrera V E, Breuer N E, Hildebrand P E, Letson D** (2005) *The dynamic North Florida dairy farm model: A user-friendly computerized tool for increasing profits while minimizing N leaching under varying climatic conditions*. *Computers and Electronics in Agriculture*;49(2):286-308.
- Calow P, Holloway L, Owen A** (2001) *Ecodesign from the ground up: taking steps without footprints. A step by step guide to greener product development*. Shot in the Dark, Brighthouse.
- Carbonneau A, Deloire A, Jaillard B** (2007) *La vigne: physiologie, terroir, culture*. Dunod.
- Casabianca F, Sylvander B, Noël Y, Béranger C, Coulon J-B, Roncin F** (2005) *Terroir et Typicité: deux concepts-clés des Appellations d'Origine Contrôlée. Essai de définitions scientifiques et opérationnelles*. Symposium International sur les Territoires et Enjeux du Développement Régional.
- Castellani V, Sala S, Benini L** (2017) *Hotspots analysis and critical interpretation of food life cycle assessment studies for selecting eco-innovation options and for policy support*. *Journal of Cleaner Production*;140:556-568.
- Cerf M, Jeuffroy M-H, Prost L, Meynard J-M** (2012) *Participatory design of agricultural decision support tools: taking account of the use situations*. *Agronomy for sustainable development*;32(4):899-910.
- Charters S, Pettigrew S** (2007) *The dimensions of wine quality*. *Food Quality and Preference*;18(7):997-1007.
- Chaudhary A, Verones F, de Baan L, Hellweg S** (2015) *Quantifying land use impacts on biodiversity: combining species-area models and vulnerability indicators*. *Environmental Science & Technology*;49(16):9987-9995.
- Chesbrough H, Bogers M** (2014) *Explicating Open Innovation: Clarifying an Emerging Paradigm for Understanding Innovation*, [w:] *Open Innovation: New Frontiers and Applications*, red. H. Chesbrough, W. Vanhaverbeke. J West, Oxford: Oxford University Press.
- Chiffolleau Y** (2005) *Learning about innovation through networks: the development of environment-friendly viticulture*. *Technovation*;25(10):1193-1204.
- Christ K L, Burritt R L** (2013) *Critical environmental concerns in wine production: an integrative review*. *Journal of Cleaner Production*;53:232-242.
- Compagnone C, Hellec F, Macé K, Morlon P, Munier-Jolain N, Quéré L** (2008) *Raisonnement des pratiques et des changements de pratiques en matière de désherbage: regards agronomique et sociologique à partir d'enquêtes chez des agriculteurs*. *Innovations agronomiques*;3:89-105.
- Conde C, Silva P, Fontes N, Dias A C P, Tavares R M, Sousa M J, Agasse A, Delrot S, Gerós H** (2007) *Biochemical changes throughout grape berry development and fruit and wine quality*.
- Coquil X, Blouet A, Fiorelli J, Bazard C, Trommenschlager J** (2009) *Conception de systèmes laitiers en agriculture biologique: une entrée agronomique*. *Productions animales*;22(3):221.

Coulon C (2012) *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*: Université d'Angers.

Craheix D, Angevin F, Bergez J-E, Bockstaller C, Colomb B, Guichard L, Reau R, Doré T (2012) *MASC 2.0, un outil d'évaluation multicritère pour estimer la contribution des systèmes de culture au développement durable*. *Innovations agronomiques*;20:35-48.

Czyrnek-Delêtre M M, Jourjon F, Perrin A, Renaud-Gentié C, van der Werf H M G (2018) *From the field to the farm - scaling up life cycle assessment towards eco-design at farm-level*. 11th International Conference on Life Cycle Assessment of Food 2018 (LCA Food). Bangkok, Thailand.

De Luca A I, Iofrida N, Leskinen P, Stillitano T, Falcone G, Strano A, Gulisano G (2017) *Life cycle tools combined with multi-criteria and participatory methods for agricultural sustainability: Insights from a systematic and critical review*. *Science of The Total Environment*;595:352-370.

Dekoninck E A, Domingo L, O'Hare J A, Pigosso D C A, Reyes T, Troussier N (2016) *Defining the challenges for ecodesign implementation in companies: Development and consolidation of a framework*. *Journal of Cleaner Production*;135:410-425.

Erkman S (2004) *Vers une écologie industrielle*. Vol. 137. Editions Charles Léopold Mayer, Paris.

European Commission (2005) *DIRECTIVE 2005/32/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 6 July 2005 establishing a framework for the setting of ecodesign requirements for energy-using products and amending Council Directive 92/42/EEC and Directives 96/57/EC and 2000/55/EC of the European Parliament and of the Council*. Official Journal of the European Union. p. 191/129 - 191/158.

European Commission (2016) *Product Environmental Footprint Pilot Guidance, - Guidance for the implementation of the EU Product Environmental Footprint (PEF) during the Environmental Footprint (EF) pilot phase*.

European Commission (2018) *Product Environmental Footprint Category Rules (PEFCR) for still and sparkling wine*.

Fandos C, Flavián C (2006) *Intrinsic and extrinsic quality attributes, loyalty and buying intention: an analysis for a PDO product*. *British food journal*;108(8):646-662.

FAO (modified 2015) *FAO's Strategic Objective 1: Help eliminate hunger, food insecurity and malnutrition* 15/11/2017]. Available from: <http://www.fao.org/about/what-we-do/so1/fr/>

Fares M h, Magrini M-B, Triboulet P (2012) *Agroecological transition, innovation and lock-in effects: The impact of the organizational design of supply chains. The French Durum wheat supply chain case*. *Cahiers Agricultures*;21(1):34-45.

Ferrendier S, Mathieux F, Rebitzer G, Simon M, Froelich D (2002) *Eco-design Guide: Environmentally Improved Product Design Case Studies of the European Electrical and Electronics Industry*. *ECOLIFE Thematic Network*:21-34.

Frischknecht R, Büsser S, Krewitt W (2009) *Environmental assessment of future technologies: how to trim LCA to fit this goal?* *The International Journal of Life Cycle Assessment*;14(6):584-588.

Fusi A, Guidetti R, Benedetto G (2014) *Delving into the environmental aspect of a Sardinian white wine: From partial to total life cycle assessment*. *Science of The Total Environment*;472:989-1000.

Gac A, Sautereau N, Van der Werf H M G (2018) *Les indicateurs complémentaires à l'Analyse du Cycle de Vie pour l'évaluation environnementale des systèmes en agriculture biologique*.

Garvin D A (1984) *What Does "Product Quality" Really Mean?* *Sloan management review*;25.

- Gazulla C, Raugei M, Fullana-i-Palmer P** (2010) *Taking a life cycle look at crianza wine production in Spain: where are the bottlenecks?* The International Journal of Life Cycle Assessment;15(4):330-337.
- Goulet F, Pervanchon F, Conteau C, Cerf M** (2008) *Les agriculteurs innovent par eux-mêmes pour leurs systèmes de culture. Systèmes de culture innovants et durable: quelles méthodes pour les mettre au point et les évaluer ?* :np.
- Gouttenoire L, Cournut S, Ingrand S** (2013) *Participatory modelling with farmer groups to help them redesign their livestock farming systems.* Agronomy for sustainable development;33(2):413-424.
- Groot J C J, Rossing W A H, Lantinga E A, Van Keulen H** (2003) *Exploring the potential for improved internal nutrient cycling in dairy farming systems, using an eco-mathematical model.* NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences;51(1):165-194.
- Guillaumin P, Couderc J-P, Rio P** (2012) *Déterminants technico-économiques des pratiques culturales en viticulture: caractérisation des exploitations adoptant des itinéraires techniques économes en intrants phytosanitaires dans la viticulture méditerranéenne.* Progrès Agricole et Viticole;129(18):126-131.
- Guilpart N** (2014) *Relations entre services écosystémiques dans un agroécosystème à base de plantes pérennes: compromis entre rendement de la vigne et régulation de l'oidium:* Montpellier, SupAgro.
- Heijungs R, Goedkoop M, Struijs J, Effting S, Sevenster M, Huppes G** (2003) *Towards a life cycle impact assessment method which comprises category indicators at the midpoint and the endpoint level.* Report of the first project phase: Design of the new method VROM report.
- Heller M C, Keoleian G A, Willett W C** (2013) *Toward a Life Cycle-Based, Diet-level Framework for Food Environmental Impact and Nutritional Quality Assessment: A Critical Review.* Environmental Science & Technology;47(22):12632-12647.
- Hellweg S, Milà i Canals L** (2014) *Emerging approaches, challenges and opportunities in life cycle assessment.* Science;344(6188):1109-1113.
- Hill S B, MacRae R J** (1996) *Conceptual framework for the transition from conventional to sustainable agriculture.* Journal of sustainable agriculture;7(1):81-87.
- Hossard L** (2012) *Conception participative et évaluation numérique de scénarios spatialisés de systèmes de culture. Cas de la gestion du phoma du colza et de la durabilité des résistances:* AgroParisTech.
- Huijbregts M A, Steinmann Z J, Elshout P M, Stam G, Verones F, Vieira M, Zijp M, Hollander A, van Zelm R** (2017) *ReCiPe2016: a harmonised life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level.* The International Journal of Life Cycle Assessment;22(2):138-147.
- INAO** (2017) *Les produits sous signe d'identification de la qualité et de l'origine - Chiffres-clés 2016.*
- ISO** (2002) *ISO 14062:2002 - Environmental Management: Integrating environmental aspects into product design and development.* International Organization for Standardization.
- ISO** (2006a) *ISO 14040:2006 - Environmental management -- Life cycle assessment -- Principles and framework.*
- ISO** (2006b) *ISO 14044:2006 - Environmental management -- Life cycle assessment -- Requirements and guidelines.*
- ISO** (2011) *ISO 14006:2011 - Environmental Management Systems—Guidelines for Incorporating Ecodesign.*
- ISO** (2015) *ISO 14001:2015 - Environmental management systems—requirements with guidance for use.*

- Johansson G** (2002) *Success factors for integration of ecodesign in product development: a review of state of the art*. *Environmental Management and Health*;13(1):98-107.
- Jourjon F, Chou H-C, Gezart A, Kadison A, Martinat L, Pomarici E, Vecchio R** (2016a) *Wineries Evaluation of Costs and Benefits of Sustainability Certification Program: The Case of Terra Vitis in France*. *Recent patents on food, nutrition & agriculture*;8(2):138-147.
- Jourjon F, Coulon C, Symoneaux R** (2017) *Diversité des AOC–diversité des labels environnementaux–diversité des consommateurs: quelle stratégie de valorisation pour la filière viticole?* *BIO Web of Conferences*: EDP Sciences p. 03009.
- Jourjon F, Sigwalt A, Symoneaux R** (2016b) *Démarches et affichages environnementaux. Perception par les professionnels: Partie 2/3: Quelle stratégie collective et quels leviers pour la mise en marché des vins?* *Revue des oenologues et des techniques vitivinicoles et oenologiques: magazine trimestriel d'information professionnelle*;43(158):55-57.
- Jover A J V, Montes F J L, Fuentes M d M F** (2004) *Measuring perceptions of quality in food products: the case of red wine*. *Food Quality and Preference*;15(5):453-469.
- Juraske R, Mutel C L, Stoessel F, Hellweg S** (2009) *Life cycle human toxicity assessment of pesticides: Comparing fruit and vegetable diets in Switzerland and the United States*. *Chemosphere*;77(7):939-945.
- Knight P, Jenkins J O** (2009) *Adopting and applying eco-design techniques: a practitioners perspective*. *Journal of Cleaner Production*;17(5):549-558.
- Knudsen M T, Hermansen J E, Cederberg C, Herzog F, Vale J, Jeanneret P, Sarthou J-P, Friedel J K, Balázs K, Fjellstad W** (2017) *Characterization factors for land use impacts on biodiversity in life cycle assessment based on direct measures of plant species richness in European farmland in the 'Temperate Broadleaf and Mixed Forest' biome*. *Science of The Total Environment*;580:358-366.
- Kulak M, Nemecek T, Frossard E, Gaillard G** (2016) *Eco-efficiency improvement by using integrative design and life cycle assessment. The case study of alternative bread supply chains in France*. *Journal of Cleaner Production*;112, Part 4:2452-2461.
- Lacombe C, Couix N, Hazard L** (2018) *Designing agroecological farming systems with farmers: A review*. *Agricultural Systems*;165:208-220.
- Lafond D, Metral R** (2015) *Concevoir en partenariat une EcoViticulture Économiquement viable et Écologiquement responsable par rapport aux pesticides (EcoViti)*. *Innovations agronomiques*;46:39-50.
- Lallemand J-F** (2014) *Ecosavoirs vignerons et co-construction du changement de pratiques viticoles à grande échelle*. *Le Courrier de l'environnement de l'INRA*;64(64):29-38.
- Lamine C** (2011) *Transition pathways towards a robust ecologization of agriculture and the need for system redesign. Cases from organic farming and IPM*. *Journal of Rural Studies*;27(2):209-219.
- Lançon J, Reau R, Cariolle M, Munier-Jolain N, Omon B, Petit M-S, Viaux P, Wery J** (2008) *Elaboration à dire d'experts de systèmes de culture innovants*. *Systèmes de culture innovants et durables: quelles méthodes pour les mettre au point et les évaluer*:91-107.
- Le Gal P Y, Dugué P, Faure G, Novak S** (2011) *How does research address the design of innovative agricultural production systems at the farm level? A review*. *Agricultural Systems*;104(9):714-728.
- Le Masson P, Weil B, Hatchuel A** (2006) *Les processus d'innovation: Conception innovante et croissance des entreprises*. Lavoisier Paris.
- Le Pochat S, Bertoluci G, Froelich D** (2007) *Integrating ecodesign by conducting changes in SMEs*. *Journal of Cleaner Production*;15(7):671-680.

- Lee S-Y, Rhee S-K** (2005) *From end-of-pipe technology towards pollution preventive approach: the evolution of corporate environmentalism in Korea*. *Journal of Cleaner Production*;13(4):387-395.
- Lefèvre V, Capitaine M, Peigne J, Roger-Estrade J** (2013) *Co-designing innovative cropping systems to improve soil functioning in organic farming*. *Innovations agronomiques*;32:47-60.
- Lehmann A, Bach V, Finkbeiner M** (2015) *Product environmental footprint in policy and market decisions: Applicability and impact assessment*. *Integrated Environmental Assessment and Management*;11(3):417-424.
- Lewandowska A, Kurczewski P** (2010) *ISO 14062 in theory and practice—ecodesign procedure. Part 1: structure and theory*. *The International Journal of Life Cycle Assessment*;15(8):769-776.
- Lewandowska A, Matuszak-Flejszman A** (2014) *Eco-design as a normative element of Environmental Management Systems—the context of the revised ISO 14001:2015*. *The International Journal of Life Cycle Assessment*;19(11):1794-1798.
- Lockshin L, Corsi A M** (2012) *Consumer behaviour for wine 2.0: A review since 2003 and future directions*. *Wine Economics and Policy*;1(1):2-23.
- Logan T J** (1993) *Agricultural best management practices for water pollution control: current issues*. *Agriculture, Ecosystems & Environment*;46(1):223-231.
- Loiseau E, Roux P, Junqua G, Maurel P, Bellon-Maurel V** (2013) *Adapting the LCA framework to environmental assessment in land planning*. *The International Journal of Life Cycle Assessment*;18(8):1533-1548.
- Loyce C, Rellier J P, Meynard J M** (2002) *Management planning for winter wheat with multiple objectives (2): ethanol-wheat production*. *Agricultural Systems*;72(1):33-57.
- Luttropp C, Lagerstedt J** (2006) *EcoDesign and The Ten Golden Rules: generic advice for merging environmental aspects into product development*. *Journal of Cleaner Production*;14(15–16):1396-1408.
- Mac Millan T, Benton T G** (2014) *Agriculture: Engage farmers in research*. *Nature*;509:25-27.
- Martin G, Felten B, Duru M** (2011) *Forage rummy: A game to support the participatory design of adapted livestock systems*. *Environmental Modelling & Software*;26(12):1442-1453.
- Martin G, Martin-Clouaire R, Duru M** (2012) *Farming system design to feed the changing world. A review*. *Agronomy for sustainable development*;33(1):131-149.
- Martínez-Blanco J, Inaba A, Quiros A, Valdivia S, Milà-i-Canals L, Finkbeiner M** (2015) *Organizational LCA: the new member of the LCA family—introducing the UNEP/SETAC Life Cycle Initiative guidance document*. *The International Journal of Life Cycle Assessment*;20(8):1045-1047.
- Masson J, J.** (2014) *Le projet Repère 3SCED : sciences de la nature, sciences humaines et sociales et savoirs «profanes» co-construisent des connaissances pour le développement durable*. *Le Courrier de l'environnement de l'INRA*;64(64):21-26.
- Mathe S** (2014) *Integrating participatory approaches into social life cycle assessment: the SLCA participatory approach*. *The International Journal of Life Cycle Assessment*;19(8):1506.
- MEA** (2005) *Ecosystems and human well-being: Synthesis*. Island Press, Washington, DC.
- Meier M S, Stoessel F, Jungbluth N, Juraske R, Schader C, Stolze M** (2015) *Environmental impacts of organic and conventional agricultural products – Are the differences captured by life cycle assessment?* *Journal of Environmental Management*;149:193-208.
- Meynard J-M, Dedieu B, Bos A P** (2012) *Re-design and co-design of farming systems. An overview of methods and practices*. In: Darnhofer, I.; Gibbon, D.; Dedieu, B., editors, *Farming Systems Research into the 21st Century: The New Dynamic*. Dordrecht: Springer Netherlands; p. 405-429.

- Meynard J-M, Jeuffroy M-H, Le Bail M, Lefèvre A, Magrini M-B, Michon C** (2017) *Designing coupled innovations for the sustainability transition of agrifood systems*. Agricultural Systems.
- Meynard J M** (2008) *Produire autrement: réinventer les systèmes de culture*. Systèmes de culture innovants et durables Paris.
- Milà i Canals L** (2003) *Contributions to Life Cycle Analysis for Agricultural Systems. Site-dependency and soil degradation impact assessment*: Thesis doctoral, Universitat Autònoma, Bellaterra.
- Mischler P, Lheureux S, Dumoulin F, Menu P, Sene O, Hopquin J-P, Cariolle M, Reau R, Munier-Jolain N, Faloya V** (2009) *Huit fermes de grande culture engagées en production intégrée réduisent les pesticides sans baisse de marge*. Le Courrier de l'environnement de l'INRA;57(57):73-91.
- Moraine M, Grimaldi J, Murgue C, Duru M, Therond O** (2016) *Co-design and assessment of cropping systems for developing crop-livestock integration at the territory level*. Agricultural Systems;147:87-97.
- Morlat R** (2010) *Traité de viticulture de terroir*. Editions Tec&Doc.
- Navarrete M, Bellon S, Geniaux G, Lamine C, Penvern S, Sautereau N, Tchamitchian M** (2011) *L'écologisation des pratiques en arboriculture et maraîchage. Enjeux et perspectives de recherches*. Courrier de l'environnement de l'INRA;62:57-70.
- Nemecek T, Hayer F, Bonnin E, Carrouee B, Schneider A, Vivier C** (2015) *Designing eco-efficient crop rotations using life cycle assessment of crop combinations*. European Journal of Agronomy;65:40-51.
- Nemecek T, Kägi T** (2007) *Life cycle inventories of agricultural production systems*. ürich and Dübendorf, Switzerland: Swiss Centre for Life Cycle Inventories Ecoinvent - ART.
- Nesme T, Lescourret F, Bellon S, Habib R** (2010) *Is the plot concept an obstacle in agricultural sciences? A review focussing on fruit production*. Agriculture, Ecosystems & Environment;138(3):133-138.
- Neto B, Dias A C, Machado M** (2012) *Life cycle assessment of the supply chain of a Portuguese wine: from viticulture to distribution*. The International Journal of Life Cycle Assessment;18(3):590-602.
- Notarnicola B, Sala S, Anton A, McLaren S J, Saouter E, Sonesson U** (2017) *The role of life cycle assessment in supporting sustainable agri-food systems: A review of the challenges*. Journal of Cleaner Production.
- Papanek V, Fuller R B** (1972) *Design for the real world*. Thames and Hudson London.
- Payraudeau S, van der Werf H M G** (2005) *Environmental impact assessment for a farming region: a review of methods*. Agriculture, Ecosystems & Environment;107(1):1-19.
- Peña N, Antón A, Kamilaris A, Fantke P** (2017) *Modeling ecotoxicity impacts in vineyard production: Addressing spatial differentiation for copper fungicides*. Science of The Total Environment.
- Penavayre S, Lempereur V, Huet A-P, Gillet S, Pernet C, Besnier A, Farrant L, Jolibert F** (2016) *Using Life Cycle Assessment to identify potential environmental impacts of an agrifood sector: Application to the PDO Beaujolais and Burgundia wine sector*. BIO Web Conf;7:01009.
- Perrin A, Basset-Mens C, Gabrielle B** (2014) *Life cycle assessment of vegetable products: a review focusing on cropping systems diversity and the estimation of field emissions*. The International Journal of Life Cycle Assessment;19(6):1247-1263.
- Perrin A, Wohlfahrt J, Morandi F, Østergård H, Flatberg T, De La Rua C, Bjørkvoll T, Gabrielle B** (2017) *Integrated design and sustainable assessment of innovative biomass supply chains: A case-study on miscanthus in France*. Applied Energy;204:66-77.

- Petit M, Reau R, Dumas M, Moraine M, Omon B, Josse S** (2012) *Mise au point de systèmes de culture innovants par un réseau d'agriculteurs et production de ressources pour le conseil*. *Innovations agronomiques*;20:79-100.
- Petti L, Arzoumanidis I, Benedetto G, Bosco S, Cellura M, De Camillis C, Fantin V, Masotti P, Pattara C, Raggi A** (2015) *Life Cycle Assessment in the Wine Sector*. *Life Cycle Assessment in the Agri-food Sector*: Springer; p. 123-184.
- Pigosso D C A, Rozenfeld H, McAloone T C** (2013) *Ecodesign maturity model: a management framework to support ecodesign implementation into manufacturing companies*. *Journal of Cleaner Production*;59:160-173.
- Point E, Tyedmers P, Naugler C** (2012) *Life cycle environmental impacts of wine production and consumption in Nova Scotia, Canada*. *Journal of Cleaner Production*;27:11-20.
- Pôle Eco-conception** (2016) *Guide d'Eco-Conception Agroalimentaire 2016* In: Pole Eco-conception, editor.
- Pujari D, Wright G, Peattie K** (2003) *Green and competitive*. *Journal of Business Research*;56(8):657-671.
- Ravier C, Prost L, Jeuffroy M-H, Wezel A, Paravano L, Reau R** (2015) *Multi-criteria and multi-stakeholder assessment of cropping systems for a result-oriented water quality preservation action programme*. *Land Use Policy*;42:131-140.
- Reau R, Monnot L-A, Schaub A, Munier-Jolain N, Pambou I, Bockstaller C, Cariolle M, Chabert A, Dumans P** (2012) *Les ateliers de conception de systèmes de culture pour construire, évaluer et identifier des prototypes prometteurs*. *Innovations agronomiques*;20:5-33.
- Rebitzer G, Ekvall T, Frischknecht R, Hunkeler D, Norris G, Rydberg T, Schmidt W P, Suh S, Weidema B P, Pennington D W** (2004) *Life cycle assessment: Part 1: Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications*. *Environment International*;30(5):701-720.
- Reijnders L** (1998) *The Factor X Debate: Setting Targets for Eco-Efficiency*. *Journal of Industrial Ecology*;2(1):13-22.
- Renaud-Gentié C** (2015) *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, application aux itinéraires techniques de production de raisins de Chenin blanc pour vins blancs secs d'AOC en Moyenne Vallée de la Loire*: Université Nantes-Angers-Le Mans.
- Renaud-Gentié C, Dieu V, Thiollet-Scholtus M, Perrin A, Julien S, Beauchet S, Jourjon F, Mérot A** (2018) *Addressing organic viticulture environmental burdens by a better understanding of inter-annual and site-related causes of impacts variations*. 11th International Conference on Life Cycle Assessment of Food 2018 (LCA Food). Bangkok, Thailand.
- Renouf M A, Renaud-Gentié C, Perrin A, Kanyarushoki C, van der Werf H M G, Jourjon F** (2017) *Challenges and recommendations for designing customised agricultural life cycle assessment tools for informing environmental improvements*. *Journal of Cleaner Production*; Under review.
- Renouf M A, Renaud-Gentié C, Perrin A, van der Werf H M G, Kanyarushoki C, Jourjon F** (2018) *Effectiveness criteria for customised agricultural life cycle assessment tools*. *Journal of Cleaner Production*.
- Rossi M, Germani M, Zamagni A** (2016) *Review of ecodesign methods and tools. Barriers and strategies for an effective implementation in industrial companies*. *Journal of Cleaner Production*;129:361-373.

- Rossing W A H, Jansma J E, De Ruijter F J, Schans J** (1997) *Operationalizing sustainability: exploring options for environmentally friendly flower bulb production systems*. *European Journal of Plant Pathology*;103(3):217-234.
- Rouault A, Beauchet S, Renaud-Gentie C, Jourjon F** (2016) *Life Cycle Assessment of viticultural technical management routes (TMRs): comparison between an organic and an integrated management route*. *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin*;50(2):77-89.
- Rousseaux P, Gremy-Gros C, Bonnin M, Henriel-Ricordel C, Bernard P, Flourey L, Staigre G, Vincent P** (2017) *"Eco-tool-seeker": A new and unique business guide for choosing ecodesign tools*. *Journal of Cleaner Production*;151:546-577.
- Roy P, Nei D, Orikasa T, Xu Q, Okadome H, Nakamura N, Shiina T** (2009) *A review of life cycle assessment (LCA) on some food products*. *Journal of food engineering*;90(1):1-10.
- Rugani B, Vázquez-Rowe I, Benedetto G, Benetto E** (2013) *A comprehensive review of carbon footprint analysis as an extended environmental indicator in the wine sector*. *Journal of Cleaner Production*;54:61-77.
- Salembier C, Horacio Elverdin J, Meynard J-M** (2016) *Tracking on-farm innovations to unearth alternatives to the dominant soybean-based system in the Argentinean Pampa*. *Agronomy for sustainable development*;36(1).
- Salembier C, Segrestin B, Berthet E, Weil B, Meynard J-M** (2018) *Genealogy of design reasoning in agronomy: Lessons for supporting the design of agricultural systems*. *Agricultural system*;164:277-290.
- Schils R L M, de Haan M H A, Hemmer J G A, van den Pol-van Dasselaar A, de Boer J A, Evers A G, Holshof G, van Middelkoop J C, Zom R L G** (2007) *DairyWise, A Whole-Farm Dairy Model*. *Journal of Dairy Science*;90(11):5334-5346.
- Schnelle E** (1979) *The Metaplan-Method: Communication tools for planning & learning groups*. Metaplan.
- Sebillotte M** (1974) *Agronomie et agriculture. Essai d'analyse des tâches de l'agronome*. *Cahiers de l'ORSTOM*;24:3-25.
- Simon S, Lesueur-Jannoyer M, Plénet D, Lauri P-É, Le Bellec F** (2016) *Methodology to design agroecological orchards: Learnings from on-station and on-farm experiences*. *European Journal of Agronomy*.
- Stewart R, Bey N, Boks C** (2016) *Exploration of the barriers to implementing different types of sustainability approaches*. In: Seliger, G.; Kruger, J., editors. Vol. 48, 23rd Cirp Conference on Life Cycle Engineering; p. 22-27.
- Stoate C, Boatman N D, Borralho R J, Carvalho C R, Snoo G R d, Eden P** (2001) *Ecological impacts of arable intensification in Europe*. *Journal of Environmental Management*;63(4):337-365.
- Tilman D, Cassman K G, Matson P A, Naylor R, Polasky S** (2002) *Agricultural sustainability and intensive production practices*. *Nature*;418:671.
- Tóth G, Hermann T, Da Silva M R, Montanarella L** (2016) *Heavy metals in agricultural soils of the European Union with implications for food safety*. *Environment International*;88:299-309.
- Tukker A, Eder, Charter M, Haag E, Vercauteren A, Wiedmann T** (2001) *Eco-design: The State of Implementation in Europe – Conclusions of a State of the Art Study for IPTS*. *The Journal of Sustainable Product Design*;1(3):147-161.

- Tuomisto H L, Hodge I, Riordan P, Macdonald D W** (2012) *Does organic farming reduce environmental impacts?—A meta-analysis of European research*. *Journal of Environmental Management*;112:309-320.
- Tyl B** (2011) *L'apport de la créativité dans les processus d'éco-innovation-Proposition de l'outil EcoASIT pour favoriser l'éco-idéation de systèmes durables*: Université Sciences et Technologies-Bordeaux I.
- Urruty N, Boiffin J, Guyomard H, Deveaud T** (2015) *Usage des pesticides en agriculture: effets des changements d'usage des sols sur les variations de l'indicateur NODU*.
- van der Werf H M G, Garnett T, Corson M S, Hayashi K, Huisingsh D, Cederberg C** (2014) *Towards eco-efficient agriculture and food systems: theory, praxis and future challenges*. *Journal of Cleaner Production*;73:1-9.
- van der Werf H M G, Petit J** (2002) *Evaluation of the environmental impact of agriculture at the farm level: a comparison and analysis of 12 indicator-based methods*. *Agriculture, Ecosystems & Environment*;93(1):131-145.
- Van Ruyskensvelde J-P, Herbin C, Audeguin L, Aveline N, Bouvier M, Cahurel J-Y, Cailleau R, Chantelot E, Codis S, Delpuech X, Dufour M-C, Dufourcq T, Gaviglio C, Gontier L, Le Cunff L, Lempereur V, Payan J-C, Petit A, Raynal M, Riou C, Rochard J, Sentenac G, Verges A, Schio L, Boy A, Gautier J** (2017) *Guide de l'Agroécologie en Viticulture*.
- Vayssières J, Bocquier F, Lecomte P** (2009a) *GAMEDE: A global activity model for evaluating the sustainability of dairy enterprises. Part II – Interactive simulation of various management strategies with diverse stakeholders*. *Agricultural Systems*;101(3):139-151.
- Vayssières J, Guerrin F, Paillat J-M, Lecomte P** (2009b) *GAMEDE: A global activity model for evaluating the sustainability of dairy enterprises Part I – Whole-farm dynamic model*. *Agricultural Systems*;101(3):128-138.
- Vázquez-Rowe I, Cáceres A L, Torres-García J R, Quispe I, Kahhat R** (2016) *Life Cycle Assessment of the production of pisco in Peru*. *Journal of Cleaner Production*.
- Vázquez-Rowe I, Villanueva-Rey P, Moreira M T, Feijoo G** (2012) *Environmental analysis of Ribeiro wine from a timeline perspective: Harvest year matters when reporting environmental impacts*. *Journal of Environmental Management*;98:73-83.
- Vereijken P** (1997) *A methodical way of prototyping integrated and ecological arable farming systems (I/EAFS) in interaction with pilot farms*. In: van Ittersum, M.K.; van de Geijn, S.C., editors. Vol. 25, *Developments in Crop Science*: Elsevier; p. 293-308.
- Villanueva-Rey P, Vázquez-Rowe I, Moreira M T, Feijoo G** (2014) *Comparative life cycle assessment in the wine sector: biodynamic vs. conventional viticulture activities in NW Spain*. *Journal of Cleaner Production*;65:330-341.
- Viret O** (2011) *Régulation des rendements en viticulture*. *Revue suisse de viticulture, arboriculture et horticulture*;43(5):277.
- Viveros Santos I, Bulle C, Levasseur A, Deschênes L** (2018) *Regionalized Terrestrial Ecotoxicity Assessment of Copper-Based Fungicides Applied in Viticulture*. Vol. 10. 2522 p.
- Wreford A, Moran D, Adger N** (2010) *Climate Change and Agriculture: Impacts, Adaptation and Mitigation (Summary)*. OECD Publishing, Paris.

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Les 4 niveaux d'éco-conception (adapté de (Ferrendier et al. 2002)).	16
Figure 2 : Conceptual framework for industrial design (in black color) and variations related to ecodesign specificities (specificities are indicated in green).	21
Figure 3 : 'De novo' design versus step-by-step design. Dotted arrows indicate secondary paths. Nature and position of assessment steps are indicated in blue.	25
Figure 4 : The diversity of object to be designed by or with agricultural production stakeholders. Light grey indicates low collective commitment required from stakeholders; dark grey indicates high collective commitment from stakeholders * PDO stands for Protected Designation of Origin.	29
Figure 5 : Problématique de la thèse et structure du manuscrit	35
Figure 6 : Présentation de la démarche de thèse (S1 : Session d'ateliers n°1 ; S2 : Session d'ateliers n°2)	36
Figure 7 : Structure of the diagrams created for the workshops: Single score and contribution of the viticultural unit operations to the total impacts of a TMR for vintage 2016.	54
Figure 8 : Example of cards for two different types of operations. Blue cards represent pesticide applications, grey cards represent mechanical operations (operations which implies the use of machinery without use of inputs)	56
Figure 9 : Environmental results of TMR1_S2 (from the 2nd session of workshops). This graph was the basis for discussions between participants during the workshops.	60
Figure 10 : Comparison of environmental impacts of initial treatment n°5 with 3 alternatives for TMR3_S2.	63
Figure 11 : Comparison of environmental impact of 5 different alternatives for fertilisation for TMR1_S2.	64
Figure 12 : Comparison of environmental impacts of the initial chemical grass management with a possible mechanical grass management for TMR2_S2. This alternative was given as an example. Participants could build their own alternative mechanical weeding strategy with available unit operations.	64
Figure 13 : Comparison of environmental impacts of two unit operations with their combination in a unique operation for TMR2_S2	65
Figure 14 : Environmental results of TMR1_S1 (from the 1st session of workshops).	75
Figure 15 : Environmental results of TMR2_S1 (from the 1st session of workshops).	76
Figure 16 : Environmental results of TMR2_S2 (from the 2nd session of workshops).	77
Figure 17 : Environmental results of TMR3_S2 (from the 2nd session of workshops).	78
Figure 18 : Timeline and elements of the analysis of the design process.	88

LISTE DES TABLEAUX

Table 1 : Definition of the different participation modes in farming system design (Martin et al., 2012).....	15
Table 2 : Comparaison des contributions des différentes phases du cycle de vie d'une bouteille de vin à son impact environnemental total pour les catégories d'impact « Changement climatique » et « Eutrophisation » et comparaison des périmètres d'étude (cases grisées) pour 6 références bibliographiques.....	17
Table 3 : Pros and cons related to each ecodesign tool type used in industries.....	22
Table 4 : Recommendations for facilitating the implementation of ecodesign in industries based on the recent literature	24
Table 5 : Main characteristics of assessment methods used in design process	26
Table 6 : Mains characteristics of LCA to be enhanced and associated limits for its use in ecodesign of innovative systems	31
Table 7 : List of impact categories and their CONTRA-Qualenvic coefficients	54
Table 8 : Main characteristics of the TMR case studies selected for first (S1) and second (S2) sessions of workshops.	58
Table 9 : List of practices considered as hotspots for each TMR and their occurrence.	61
Table 10 : Proposals generated by participants of both 1 st and 2 nd session of workshops based on environmental results.	62
Table 11 : Percentage of aggregated impact reduction obtained with eco-designed TMR and list of practices changed.....	67
Table 12 : Emission models used in the study to calculate on-field emissions (Rouault et al., 2016)..	74
Table 13 : Detailed content of the 1st session of workshops.	85
Table 14 : Detailed content of the 2nd session of workshops.....	86
Table 15 : Composition of the 2 groups, number of participants, number of case studies per session and time between workshops.....	90
Table 16 : Types of operations considered as hotspots for each TMR and their occurrence. The unit operations are grouped according to their function in the TMR and according to the different modalities found in the case studies.....	91
Table 17 : Ranking of the most discussed operations for each group work phases during the workshops.	93
Table 18 : Percentage of aggregated impact reduction for all case studies.....	95
Table 19 : Main constraints identified by participants regarding the various changes in practices considered.....	96
Table 20 : Utilisation des post-it intermédiaires pour chaque indicateur de qualité.	116
Table 21 : Hiérarchisation qualitative du degré d'influence des pratiques viticoles pour chaque indicateur de qualité	116
Table 22 : Changement de pratiques proposés à l'atelier 2 et effets de ces changements sur la qualité du raisin (évalués par les participants lors de l'atelier 3).....	118
Table 23 : Comparaison des leviers de maîtrise de la vigueur identifiés dans la littérature et dans l'atelier 3 de la démarche.....	119
Table 24 : Temps de préparation passé avant chaque phase de la démarche pour chacune des sessions d'ateliers.....	133

ANNEXES

Annexe 1 : Article publié dans Oeno One (Rouault et al., 2016)

LIFE CYCLE ASSESSMENT OF VITICULTURAL TECHNICAL MANAGEMENT ROUTES (TMRs): COMPARISON BETWEEN AN ORGANIC AND AN INTEGRATED MANAGEMENT ROUTE

Anthony ROUAULT¹, Sandra BEAUCHET^{1,2}, Christel RENAUD-GENTIE^{1*}, Frédérique JOURJON¹

¹: UPSP GRAPPE, UMT VINITERA, SFR Quasav, Groupe ESA, 55 rue Rabelais, BP30748, F-49007 Angers, Cedex 01, France

²: ADEME, SAF, 20, Avenue du Grésillé, 49 000 Angers, France

*Corresponding author: c.renaud@groupe-esa.com

Abstract

Aims: Using Life Cycle Assessment (LCA), this study aims to compare the environmental impacts of two different viticultural technical management routes (TMRs); integrated and organic) and to identify the operations that contribute the most to the impacts.

Methods and results: LCA impact scores were expressed in two functional units: 1 ha of cultivated area and 1 kg of collected grape. We studied all operations from field preparation before planting to the end-of-life of the vine. Inputs and outputs were transformed into potential environmental impacts thanks to SALCA™ (V1.02) and USETox™ (V1.03) methods. Plant protection treatments were a major cause of impact for both TMRs for fuel-related impact categories. For both TMRs, the main contributors to natural resource depletion and freshwater ecotoxicity were trellis system installation and background heavy metal emissions, respectively.

Conclusion: This study shows that the studied organic TMR has higher impact scores than the integrated TMR for all the chosen impact categories except eutrophication. However, the chosen TMRs are only typical of integrated and organic viticulture in Loire Valley and some emission models (heavy metal, fuel-related emissions, and nitrogen emissions) have to be improved in order to better assess the environmental impacts of viticulture. Soil quality should also be integrated to LCA results in viticulture because this lack may be a disadvantage for organic viticulture.

Significance and impact of study: This study is among the first to compare LCA results of an integrated and an organic TMR.

Key words: environmental assessment, vineyard management, organic viticulture, integrated viticulture, life cycle thinking

Résumé

Objectifs : En utilisant l'Analyse du Cycle de Vie (ACV), cette étude compare les impacts environnementaux de deux itinéraires techniques viticoles (ITK) différents (raisonné et biologique) et identifie les opérations qui contribuent le plus aux impacts.

Méthodes et résultats : Les scores d'impacts ACV ont été exprimés en deux unités fonctionnelles : 1 ha de surface cultivée et 1 kg de raisin récolté. Toutes les opérations depuis la préparation de la parcelle jusqu'à la fin de vie de la vigne ont été prises en compte. Entrants et sortants ont été transformés en impacts potentiels à l'aide des méthodes SALCA™ (V1.02) et USETox™ (V1.03). Les traitements phytosanitaires sont un impact majeur pour les deux ITK pour les impacts liés à la consommation de carburant. Pour les deux ITK, les principaux contributeurs aux impacts épuisement des ressources naturelles et écotoxicité aquatique (eau douce) sont respectivement l'installation du palissage et les émissions de fond d'éléments traces métalliques (ETM).

Conclusion : Cette étude montre que l'ITK biologique étudié a des scores d'impact plus élevés que l'ITK raisonné pour tous les impacts sélectionnés sauf l'eutrophisation. Cependant, les ITK sélectionnés pour l'étude sont uniquement représentatifs au niveau du Val de Loire d'une viticulture biologique « intensive » et d'une viticulture raisonnée et certains modèles d'émission (ETM, émissions liées aux carburants, émissions azotées) doivent être améliorés pour une meilleure évaluation des impacts environnementaux de la viticulture. La qualité du sol devrait aussi être intégrée aux résultats ACV car ce manque désavantage sans doute la viticulture biologique.

Signification et impact de l'étude : Cette étude est parmi les premières à comparer les résultats ACV d'un ITK raisonné et d'un ITK biologique.

Mots clés : évaluation environnementale, gestion du vignoble, viticulture biologique, viticulture raisonnée, approche cycle de vie

INTRODUCTION

Over the past few years, the environmental impacts of human activities, and of intensive farming in particular, often have been singled out. Human toxicity, eutrophication, ecotoxicity, global warming, soil degradation and acidification are among the most significant environmental impacts of agricultural practices for the second half of the 20th century (Andersson, 2000; Tilman et al., 2002; Van der Werf and Petit, 2002; Stoate et al., 2009). In this context, environmentally-friendly food products are created and consumer demand for such products is increasing (Ruviaro et al., 2012; Jourjon and Symoneaux, 2013; Symoneaux and Jourjon, 2013). For example, we recently saw the emergence and progression of « organic » wine (from organic viticulture). Its sales increased by 56% between 2010 and 2013 in France, which represents the best progression among organic products (AgenceBio, 2014). Moreover, the surface of French organic vineyard almost tripled between 2007 and 2012 and

keeps increasing (+22% between 2012 and 2013) (AgenceBio, 2014). In Europe, this surface has been multiplied by 2.3 between 2007 and 2011 (Willer, 2013).

Since 2008, the French government has been addressing environmental issues through the « Grenelle de l'Environnement ». This governmental project aims to restructure French environmental policy (ADEME, 2014). Within this framework, the « EcoPhyto » plan has been launched in 2008 with the objective of reducing pesticide use by 50% between 2008 and 2018. The « Grenelle de l'Environnement » also aims to increase organic agricultural surface by 20% by 2020 and to spread environmentally-friendly practices (République Française, 2014a; République Française, 2014b).

In order to integrate these new demands and rules, the entire wine sector continues its efforts to reduce pesticide use, resulting in a slight decrease between 2006 and 2010 in France (Agreste, 2012; Jourjon et al., 2015). The major impacts of viticulture are indeed linked to pesticide use but also to mechanization (Boulanger-Fassier, 2008).

Life Cycle Assessment (LCA) is a quantitative method enabling the evaluation of the potential environmental impacts of a product, process or service during its whole life cycle. Because it takes into account all the life cycle steps of a product (from “cradle to grave”), LCA enables the identification of the most impacting elements and gives accurate advices to reduce impacts. LCA also aims to avoid pollution transfers: reducing one impact while increasing another or transferring impacts from one life cycle step to another (ISO, 2006a; ISO 2006b; Benoist et al., 2008; Jolliet et al., 2010).

LCA includes four mandatory steps (ISO, 2006a; ISO 2006b), as shown in figure 1.

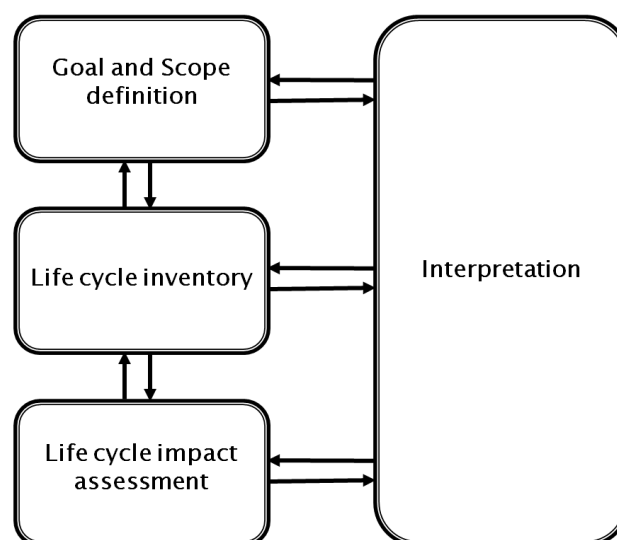


Figure 1 - LCA steps (ISO, 2006a; ISO 2006b).

Nonetheless, LCA does not answer all questions. It can quantify pollutant emissions and potential impacts but, for example, it cannot show the effects of a pollutant on the nearby population of an industry nor evaluate systems from an economic or social point of view, even if research work has started to include these issues to LCA studies (Jolliet et al., 2010).

LCA is now well-known as a useful tool to develop more sustainable agricultural systems (Andersson, 2000). Lots of agricultural LCA studies have been published in the last few years (for review, see Roy et al., 2009). Moreover, application of LCA on a plot scale has been identified as relevant to assess environmental impacts of agriculture (Bessou et al., 2013; Renaud-Gentié, 2015). LCA studies on wine have been published in recent years; they enabled adaptation of LCA method to wine industry. In these studies, vine growing phase has an important part in total impacts of wine's life cycle (Gazulla et al., 2010; Point et al., 2012; Vázquez-Rowe et al., 2012; Neto et al., 2013; Rugani et al., 2013; Fusi et al., 2014). Thus, recent LCA studies only focussed on the vine growing phase (Villanueva-Rey et al., 2014; Renaud-Gentié, 2015). Bellon-Maurel et al. (2015) proposed a method to use traceability data to generate life cycle inventory for viticulture. Renaud-Gentié (2015) proposed a LCA framework method to assess environmental impacts of viticultural technical management routes (TMRs) on a plot scale. This method was then applied to several TMRs in the Loire Valley and methodological improvements were identified (Renaud-Gentié, 2015). According to Villanueva-Rey et al. (2014), there is a strong variability concerning environmental impacts between different TMRs. For example, in that study, the studied biodynamic system “showed a substantially lower environmental profile” (Villanueva-Rey et al., 2014).

This study aims to evaluate and compare the environmental performance of two different TMRs applied to a same vineyard, one fulfilling organic viticulture requirements, the other defined as integrated viticulture. A TMR is a logical successions of technical options designed by the farmers (Renaud-Gentié et al., 2014a). Major impacts of both systems and the most impacting practices are identified. Measures to reduce major impacts are therefore recommended for each TMR. Finally, the study sheds light on methodological issues about applying LCA on a TMR scale.

MATERIALS AND METHODS

1. Goal and scope definition

1.1 Goals and scope

This study evaluates and compares environmental impacts of an organic and an integrated vineyard parcel with identical environmental conditions.

Integrated and organic viticulture both aim to respect the environment while producing grapes. Concerning dry white wine production from Chenin Blanc grape variety in Loire Valley, five TMR categories were identified in a typology, of which two were organic: one « moderate » organic TMR (few operations) and one « intensive » organic TMR (lots of operations) (Renaud-Gentié et al., 2014a). Both categories include the non-use of synthetic pesticides, the use of copper and sulfur as fungicides and tillage under vines. The major difference between « moderate » and « intensive » organic TMR is the frequency of copper and sulfur application and canopy management operations, which are more numerous in « intensive » TMRs (Renaud-Gentié et al., 2014a). The organic TMR included in this study belongs to the « intensive » organic TMR category. In integrated viticulture, synthetic pesticide use is not forbidden. However, the purpose of integrated viticulture is to limit their use as much as possible. A trade-off between grape quality objectives and environmental concerns must be found. The winegrower must explain each operation with an accurate diagnosis and evaluation of his vineyard (FARRE, 2014). The studied integrated TMR belongs to « moderate pesticide use » TMR in the previously quoted classification (Renaud-Gentié et al., 2014a).

The studied systems are two TMRs applied by the same winegrower during 2013 in a Chenin Blanc vineyard located in Loire Valley for the same dry white wine production objective (AOC Saumur Blanc). Both parcels are covered with the same width of grass (30% of the surface), planted with the same vine density (4785 vines/ha) and espalier trained.

The function of a TMR could be defined as growing vine on a given area in order to produce as much grapes as possible with a given grape quality target.

1.2 Functional Units

The Functional Unit (FU) is known as the chosen reference unit in LCA. This unit allows comparison of different systems that have the same function. It characterizes and quantifies the system's function (ISO, 2006a; ISO 2006b; Joliet et al., 2010). As Andersson (2000) said, the choice of the FU is critical when the goal is to compare different products and this choice “can significantly influence the conclusions” of the study.

The first function of a vineyard TMR is the production of grapes. However, considering that all the operations are done on a parcel scale, we can also choose to express LCA results

depending on the cultivated surface area as winegrowers often reason their practices on a hectare basis (Renaud et al., 2010).

In our case, we chose to express our results with the two following FUs:

- 1 hectare (ha) of land used for Chenin Blanc grape production for the same dry white wine production (AOC Saumur Blanc).
- 1 kilogram (kg) of Chenin Blanc grapes for the same dry white wine production (AOC Saumur Blanc).

We chose to express impact scores with those two units in order to be consistent with many agricultural LCA studies. Indeed, the most used FUs in agricultural LCA studies are mass of final products (kg), energy or protein content in food products (kJ), area (ha), unit of livestock (Roy et al., 2009). Moreover, when comparing organic and integrated viticulture, considering both units allows seeing the influence of the yield on LCA results.

1.3 System boundaries

In this study, we assessed the environmental impacts of two wine-grape production systems. We assessed impacts from cradle to farm gate, like lots of agricultural LCA studies do. All the steps following grape production (wine making, transport, consumption, etc.) are not integrated into system boundaries (Roy et al., 2009). We consider the parcel as an agronomic surface into a vineyard.

The vine life cycle can be divided into four main stages: planting phase, non-productive years (3 years), productive phase (several decades), and end-of-life phase. On a parcel scale, a soil preparation phase can be added before planting (Reynier, 2011).

In order to consider the whole vine life cycle while assessing the impacts of one productive year (2013), we divided the impacts of non-productive phases (soil preparation, planting, non-productive years, end-of-life) by 30, as we considered this as the mean lifetime for a vineyard parcel. Occasional operations (not executed each year but contributing to several vintages, e.g. fertilisation, interplanting, etc.) are divided by their frequency of occurrence.

Transport of supplies and products (pesticides, fertilisers, etc.) used during productive and non-productive phases and during occasional operations has also been taken into account.

Like many agricultural LCA studies, biogenic carbon is not accounted for in this study. Indeed, emitted by the vine, biogenic carbon (contained in the vine plant) is reabsorbed during photosynthesis as CO₂. It is thus a closed loop where human actions have no effect.

Machine and worker movements from the farm (or from the main office of the service supplier) to the parcel, and time for coupling and uncoupling the machine and washing the sprayers and tractors are also included into system boundaries on a standardized basis. The spray of the washing water to the parcel is also taken into account. Workers' private travel from home to the farm is not included.

1.4 Sensitivity analysis

Based on our results, a sensitivity analysis was done. This analysis enables comparing both systems. We considered a lower yield for the organic parcel and analysed the differences between the two studied systems using several yield assumptions. We could not have an accurate yield for the organic parcel from the winegrower. We only had an overall yield of 5.7 t/ha for the two parcels. For this sensitivity analysis, we thus chose to test a 20% lower yield for the organic parcel, which is consistent with other studies (Nicoletti et al., 2001; Niccolucci et al., 2008; Pizzigallo et al., 2008; Point et al., 2012).

2. Life cycle inventory for both TMRs

2.1 Data collection method

Data concerning operations realised in the vineyard during 2013 and non-productive phases were collected thanks to winegrower's traceability documents (operation report and treatment calendar), a data inventory file filled by the winegrower, discussions by e-mails and interviews with the winegrower. The following informations were collected:

- Dates of the operations,
- Duration of each operation,
- Machine and equipment types used for each operation,
- Names of the products used for supplies (posts, stakes, wires, etc.), plant protection treatments, weeding and fertilisation,
- Characteristics of machines and equipments used for each operation.

Interviews with the winegrower enabled collecting references for machines and supplies and thus their characteristics (weight, power, etc.) from manufacturers.

2.2 Data sources

Machine weights are given in manufacturers' documentation. If the information was not available, an estimate by the winegrower was taken into account.

Lifetime and annual use durations for machines were extracted from a document edited by ART (Gazzarin, 2011) and storage surface areas are from a document provided by C. Gazzarin (author of the latter ART document). When data were not available, lifetime was estimated by experts and storage surface areas from machine dimensions or, as a last resort, from winegrower's estimate.

Concerning fuel consumption of some operations, results from viticultural equipment tests were used (Gaviglio, 2009). For operations that were not available in the previously quoted document, data from EcoInvent report (Nemecek et al., 2007) and expert estimates (winegrowers, viticultural machine specialists, etc.) were used.

Pesticide compositions are from the pesticide database of the French Agriculture Ministry (Ephy, 2014).

2.3 Direct field emission models

In order to quantify direct emissions linked to the use of all inputs and their distribution in environmental compartments (air, soil, surface and ground water), the use of emission models is essential. This study necessitated emission models for calculating direct field emissions for ammonia (NH₃), nitrate (NO₃-), nitrogen dioxide (N₂O), nitrogen oxides (NO_x), phosphorus, heavy metals, pesticides and fuel consumption. We used emission models recommended by Agribalyse (Koch and Salou, 2014) except for ammonia and pesticide emissions. The emission models used in the study are listed in table 1.

Table 1 - Emission models used in the study

Modelled phenomenon [Unit]	Bibliographic Reference
Erosion [kg of eroded soil/year]	RUSLE (Foster, 2005)
Phosphorus emissions [kg P/ha]	SALCA-P (Nemecek et al., 2007)
Nitrate emissions [kg N/ha]	SQCB (Faist-Emmenegger et al., 2009)
Ammonia emissions to air [kg NH ₃ /ha]	Tier2 approach (Hutchings et al., 2013)
Nitrogen oxides and nitrogen dioxide emissions [kg NO _x (ou N ₂ O)/ha]	EcoInvent (Nemecek and Schnetzer, 2011)
Heavy metal emissions [g HM/ha]	SALCA-ETM (Freiermuth, 2006)
Volatile Organic Compounds, Nitrogen oxides and carbon monoxide emissions from fuel combustion [g/h]	EcoInvent (Nemecek et al., 2007)

Active substance emissions from pesticides [kg/ha]	PestLCI 2.0 (Renaud-Gentié et al., 2014b)
--	---

3. Life cycle impact assessment

SimaPro® software (V8.0.3.14) was used to calculate life cycle impacts.

To calculate life cycle impacts from inventory data, LCA is done through characterization methods. These methods enable classifying inventory data into different impact categories. It also gives each piece of data a characterization factor which transforms the unit and enables having the same reference unit for all data of the same impact category. We used SALCA™ V1.02 and USETox™ V1.03 characterization methods in this study. SALCA™ impact categories come from different existing characterization methods and inventory categories (Agroscope, 2014).

Within SALCATM, the following impact categories were chosen for this study:

- Demand on fossil resources (MJ-eq) (SALCA™ V1.02). This impact category quantifies the consumption of fossil fuels regarding global demand for each fossil fuel. Impact score is related to quantity and scarcity of each fossil fuel.
- Global Warming Potential (kg CO₂-eq) (SALCA™ V1.02). This category models effects of greenhouse gases on global warming.
- Photochemical ozone formation potential (pers.ppm.h) (SALCA™ V1.02). Photochemical ozone is a pollutant created by photochemical reactions between PAHs, NO₂ (and other primary pollutants from vehicles and industries) and O₂. Photochemical ozone is the main cause of photochemical smogs that can be observed around big cities.
- Eutrophication potential (kg N-eq) (SALCA™ V1.02). Eutrophication is caused by nitrogen and phosphorus emissions to water. This surplus of nutrient in water induces a multiplication of micro-organisms that consume more oxygen and can lead to asphyxia of the aquatic environment.
- Acidification potential (m² or kg SO₂ eq) (SALCA™ V1.02). Acidification is caused by sulfur and nitrogen emissions to air that can be harmful to ecosystems after deposition on soils and oceans.
- Freshwater ecotoxicity potential (CTUe) (USETox™ V1.03). Toxicity of substances emitted to the aquatic environment on wildlife is assessed in this impact category.

- Resource depletion (kg) (SALCA™ V1.02). Scarcity of mineral and fossil resources is assessed in this impact category.

All these impact categories were chosen because we identified them as key environmental issues for viticulture. To be consistent, we chose to select impact categories only within the SALCA™ V1.02 version. We added one impact category from USETox™ V1.03 because it is a consensus model supposed to represent the best application practice for characterization of toxic impacts of chemicals in LCA (Renaud-Gentié et al., 2015) and because of its consistency with the pesticide emission model we used (Pest-LCI).

RESULTS

Results are reported in figure 2. To make results easier to understand, all processes were gathered in different operation categories (or life cycle steps):

- The TMR needed for **trellis system installation** is shown separately from other **non-productive** operations because we noticed high impacts of this process in our first results.
- « **Fertilisation and amendments** » are occasional operations we chose to show separately because of their high potential impacts.
- « **Occasional operations** » category gathers operations that are not done every year and have consequences on several vintages: interplanting, trellis system maintenance, grass sowing and subsoiling.
- « **Mechanical operations** » are operations realised thanks to viticultural equipment coupled with a tractor. This category excludes phytosanitary treatments, fertilising operations and soil management operations but includes pre-pruning, shredding of vine shoots, trimming and leaf thinning.
- « **Soil management** » category accounts for all operations linked to weed and grass management, e.g. weeding (chemical or mechanical) and mowing.
- « **Plant protection treatments** » category regroupes all phytosanitary treatments realised in the parcel during 2013 (« machines » processes included).
- « **Harvest** » is in a separate category in order to be able to compare manual and mechanic harvests.

- Nitrate, phosphorus and heavy metal emissions which could not be assigned to any specific operation are gathered in a category named « **background emissions** ». These emissions are either natural and, thus, independent from human actions in the vineyard or from a combination of operations and, thus, could not be attributed to only one specific operation. Emissions for non-productive phases are not included in this category but are included in the « non-productive phases » category.

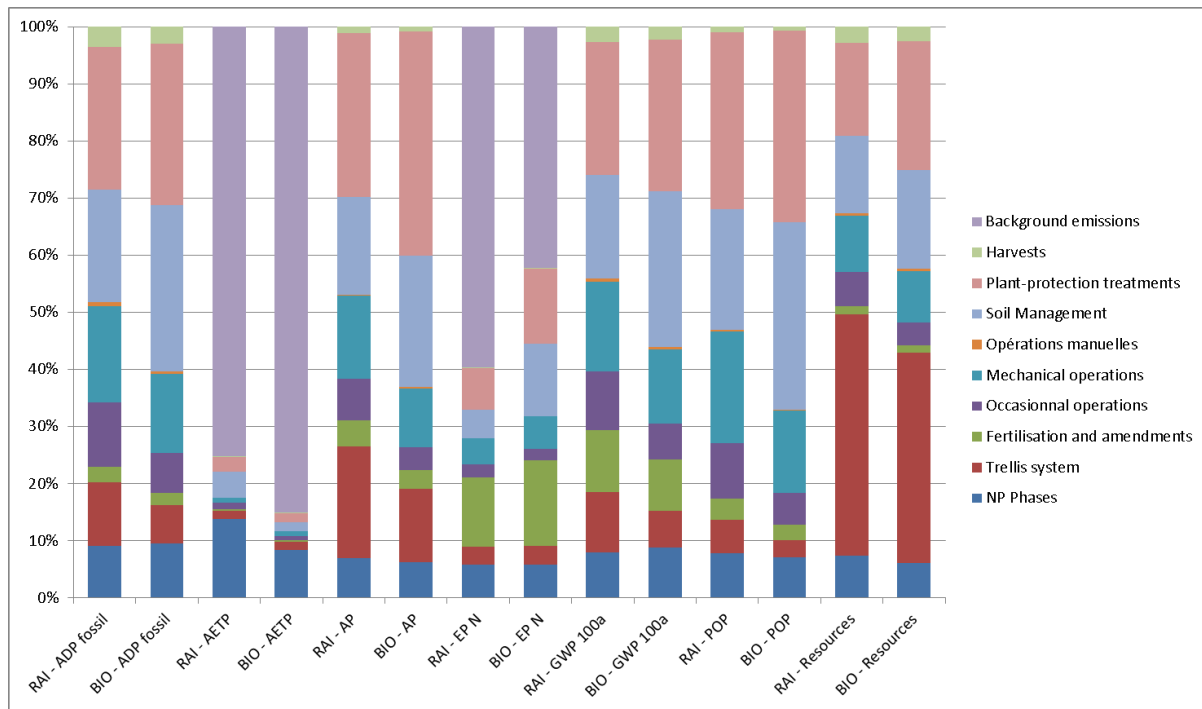


Figure 2 - Operations’ contributions to the chosen impact categories (RAI: Integrated TMR; BIO: Organic TMR; ADP fossil: Abiotic Depletion Potential for fossil resources; GWP: Global Warming Potential; POP: Photochemical ozone formation potential; AP: Acidification potential; EP N: Eutrophication potential (linked to nitrogen); AETP: Freshwater ecotoxicity potential).

1. Life cycle impact assessment of an integrated TMR

Plant protection treatments are a major source of impact for this TMR as they represent an average of 28% for ADP fossil, global warming potential, photochemical ozone formation and acidification categories. This is mainly due to fuel consumption and fuel-related emissions to air.

Soil management and mechanical operations are also main contributors to TMR’s impacts (average of 18% each for GWP 100a, POP, AP and ADP fossil) mostly because of fuel consumption.

Background emissions have a high contribution to eutrophication (around 60%) because of nitrate emissions. They also have a high contribution to freshwater ecotoxicity (75%) because of heavy metal emissions.

Non-productive phases, including trellis system installation and despite they are amortized on vineyard lifetime, have high contributions. Indeed, they represent an average of 20% of total impacts for GWP 100a, AP, AETP and ADP fossil. Trellis system installation impacts 43% of resource depletion, mainly because of the amount of zinc used during galvanization of steel wires.

2. Life cycle impact assessment of an organic TMR

Plant protection treatments and soil management together account for more than 50% of impacts for the following impact categories: fossil resource demand, global warming, photochemical ozone formation and acidification. This is mainly due to fuel consumption and its gas emissions.

Background nitrate emissions related to the global management of the vineyard represent 42% for eutrophication impacts. For this category, plant protection treatments account for 15% because of NO_x emissions from fuel combustion.

Trellis system installation represents 37% of natural resource depletion impacts. In this impact category, plant protection treatments account for 22% and soil management for 17%.

Concerning freshwater ecotoxicity, heavy metal emissions related to the global management of the vineyard are responsible for 85% of total impact.

Non-productive phases account for an average of 10% for each impact category (except resources).

3. Comparison of impacts between the two studied TMRs

For the majority of studied impacts, organic TMR has more impacts than the integrated one. Except for freshwater ecotoxicity (AETP) and eutrophication (EP N), the integrated TMR has, on average, 20% less impact than organic TMR. Concerning freshwater ecotoxicity, the integrated TMR has 5% less impact than the organic TMR. Finally, organic TMR has 10% less impact than integrated TMR for eutrophication (EP N).

Table 2 - Impact score variations between the two studied TMRs for some life cycle

steps. Variations are calculated following this equation: $(IS_{Org} -$

$IS_{Int})/Max(IS_{Org};IS_{Int})$ with IS_{Org}: Impact Score of the organic TMR and IS_{Int}:

Impact Score of the integrated TMR. For example, impact score of non-productive phases for ADP fossil is 21% higher in organic TMR than in integrated TMR.

	Non productive phases	Trellis system installation	Occasional operations	Manual operations	Soil management	Plant protection treatments	Background emissions
ADP fossil	21%	-27%	-25%	-13%	44%	28%	0%
GWP 100a	26%	-27%	-25%	-4%	45%	28%	0%
POP	20%	-32%	-21%	5%	53%	32%	0%
AP	20%	-7%	-21%	21%	47%	48%	0%
EP N	-17%	-13%	-21%	10%	53%	32%	-42%
Resources	-8%	-3.3%	-23%	2%	30%	35%	0%
AETP	-35%	0%	-33%	-8%	-64%	-34%	16%

Table 2 shows, for each life cycle step and each impact, the differences between the two studied TMRs. Impact scores that are almost equal between the two TMRs (fertilisation and amendments, mechanical operations, harvests) are not shown in this table. Positive values mean a higher score for the organic TMR and negative values a higher score for the integrated TMR.

Impact differences between both TMRs are mostly due to soil management because its impact score has a 45% variation for all categories except freshwater ecotoxicity. A high difference (34% on average) can also be observed between plant protection treatment impact scores of both TMRs for the same impact categories.

Concerning freshwater ecotoxicity, the integrated TMR has a higher impact score concerning plant protection treatments (+34% in comparison with organic TMR), non-productive phases (+35%) and soil management (+64%). Organic TMR has a higher total impact score because of a higher impact score related to background emissions (16%).

Concerning impacts related to fuel consumption (ADP fossil, GWP 100a, POP and AP), total impact differences are mostly due to soil management, plant protection treatments and non-productive phases. However, for these impact categories and concerning trellis system installation, higher impacts of integrated TMR can be observed (from 7% for AP and around 30% for ADP fossil, GWP 100a and POP). This is only due to higher fuel consumption (and emissions to air) in integrated TMR which is due to a higher number of wooden posts that had to be planted.

Regarding eutrophication, difference between integrated and organic TMR should be attributed to background emissions as its impact score variation between both TMRs is high

(42% more for integrated) and because background emissions are the main contributor to total impact score for both TMRs. These background emissions are mainly nitrate emissions to water and ammonia emissions to air.

4. Influence of yield on impacts (with kg functional unit)

As explained in section 1.4, a sensitivity analysis has been performed considering this assumption: organic TMR could result in a 20% lower yield than integrated TMR (Table 3).

Table 3 - Comparison of potential impacts (expressed in kg of grapes) of both TMRs with the assumption of a lower yield for organic TMR

	INTEGRATED	ORGANIC	ORGANIC (-20%)
GWP 100a (kg CO ₂ eq)	0.2965	0.3613	0.4516
POP (m ² .ppm.h)	4.5585	6.2819	7.8524
AP (m ²)	0.0369	0.0519	0.0649
EP N (kg N)	0.0007	0.0008	0.0010
AETP (CTUe)	0.6595	0.6946	0.8683
ADP Fossil (MJ eq)	4.0458	4.9729	6.2161
Resources (kg)	0.0001	0.0001	0.0001

DISCUSSION

1. Major impact sources

1.1 Fuel consumption

For both TMRs, plant protection treatments and soil management are the operations that have the highest impacts on global warming, photochemical ozone formation, acidification and fossil resource demand. The main cause of these impacts is the fuel combustion while tractors are working in the vineyard.

Impacts on fossil resource demand are directly related to fuel consumption since only petroleum extraction is taken into account for this impact category.

Global warming scores are related to greenhouse gas emissions from fuel combustion, which are proportional to fuel consumption.

Impact scores concerning photochemical ozone formation potential are mainly due to non-methane volatile organic compound (NMVOC), nitrogen oxide (NO_x) and carbon monoxide (CO) emissions from fuel combustion in tractors.

Similarly, acidification impact scores are related to NO_x emissions from fuel combustion. Consequently, reducing impact scores for these four impact categories requires reducing fuel consumption.

Calculations of NMVOC, NO_x and CO emissions are based on values from Nemecek et al. (2007). These emission values are given for several agricultural operations and the hourly fuel consumption considered for each operation is provided. As the hourly fuel consumptions for similar viticultural operations (collected from the winegrowers) were often different from those considered in this document, we considered (in the absence of any more reliable information) that gas emissions for each operation type were proportional to the hourly fuel consumption of machines. For example, if values from Nemecek et al. (2007) are 9 L/h for fuel consumption with a corresponding NMVOC emission value of 12 g/h and fuel consumption for the same type of operation from our winegrower is 10 L/h, $(10 \times 12) / 9 = 13,33$ g/h will be considered as the corresponding NMVOC emission value. According to Nemecek et al. (2007), emissions of these three pollutants (NMVOC, NO_x, CO) depend on speed and engine power. As we could not take into account these parameters (lack of data), there are uncertainties concerning NMVOC, NO_x and CO emissions. However, in any case, reducing machine use will reduce TMR's contribution to this impact category. Global Warming Potential (GWP) is the most used impact category in viticultural LCA studies. Table 4 compares different GWP results from recently published studies with our results.

Table 4 - GWP results from different viticultural LCA studies (calculated with similar methods) (a: BD-2010 corresponds to a biodynamic TMR, b: CV-2010 corresponds to a conventional TMR)

	Publication	GWP (g CO ₂ -eq/kg of grapes)
Integrated TMR	This paper	289
Organic TMR	This paper	361
BD-2010^a	(Villanueva-Rey et al., 2014)	88
CV-2010^b	(Villanueva-Rey et al., 2014)	341

Ribeiro (2010)	(Vázquez-Rowe et al., 2012)	1 547
Nova Scotia (2006)	(Point et al., 2012)	720
Vermentino (2012)	(Fusi et al., 2014)	158

Differences between studies can be explained by differences in system boundaries and types of data. However, our results are consistent with other studies, particularly with Villanueva-Rey et al. (2014). Indeed, GWP score calculated for BD-2010 is much lower than our values for organic and integrated TMRs. Moreover, GWP score for CV-2010 is higher than our integrated TMR's score and lower than our organic TMR. This is due to a higher machine use in our organic TMR than in the two remaining TMRs and it seems consistent with the machine use in TMR categories defined by Renaud-Gentié et al. (2014a).

1.2 Background nitrate emissions

Eutrophication potential of both studied TMRs is mostly due to nitrate emissions leached without nitrogenous fertiliser input applied during the studied year. These emissions are related to leaching of nitrogen already present in the soil by rainfalls during the studied period. There is a pending question concerning influence of nitrogen inputs from previous years because the model we chose makes assumptions about the existing Nitrogen stock without taking into account the real quantity brought in the previous years. Furthermore, nitrogen uptake by grass should be taken into account in future studies. This is not the case in this study and accounting for it may reduce emissions.

Organic fertilisation made during 2013 is the second contributor to eutrophication, because of nitrate emissions from fertilisers. Reducing the use of fertilisers should enable reducing nitrate emissions and thus (nitrogen-related) eutrophication for each TMR. However, these emissions are very low compared to emissions of the whole TMR and the parcel is lacking organic matter so it needs a regular organic input to meet vine's needs.

1.3 Heavy metal emissions

For integrated TMR, background emissions and non-productive phases are the main sources of impact for freshwater ecotoxicity. Score impacts related to the « non-productive phases » category are mainly due to active ingredient emissions whereas score impacts related to the « background emissions » category are mainly due to heavy metal emissions.

In organic TMR results, heavy metal background emissions are also the main source of impact for freshwater ecotoxicity. More specifically, these heavy metal emissions are strongly

related to erosion and leaching. Reducing these heavy metal emissions seems difficult as they are not related to inputs. In this study, we did not account for long-term impacts but only short-term impacts. If long-term impacts were accounted for, plant protection treatments could have more impacts because of copper use in organic viticulture.

Background emissions are the main impact source concerning freshwater ecotoxicity. Similarly to impacts of nitrate emissions, impacts from background heavy metal emissions could be included to plant protection treatment impacts if we consider background emissions are mainly coming from previous vintages.

2. Comparison between integrated and organic TMRs

Organic TMR has more impact (20% more on average) than integrated TMR concerning the following impact categories: fossil resource demand, global warming potential, photochemical ozone formation potential, acidification potential, eutrophication (nitrogen related) potential and resource depletion. This impact surplus is significantly caused by higher fuel consumption in organic TMR (around 100 kg more than integrated per hectare). Reducing fuel consumption of both TMRs implies reducing machinery use (with biological pest control and improving vine resistance to diseases, for example) or adopting eco-driving or electric tractors. Moreover, organic TMR has more impact than integrated TMR (+5%) for the freshwater ecotoxicity category, because of lower background heavy metal emissions in the integrated TMR. Indeed, background emissions are the main contributor to AETP impacts for both TMRs and the only operation category where AETP impact score is higher for organic TMR.

As said previously, organic TMR is the most impacting on most of the studied impact categories. Concerning freshwater ecotoxicity category, which is the only category accounting for active ingredient and heavy metal emissions, the comparison between organic and integrated TMRs could be improved. Indeed, background heavy metal emissions are the main impact source for each TMR (around 80% of the total of this impact category). In the model used for calculation, these background emissions are due to the existing stock in the soil and the atmospheric deposition. In the model, the assumption is made that the stock is higher in organic vineyard soils because of the higher use of copper. Information about these background emissions is interesting but it is not the primary information needed to help winegrowers make choices about practices because the practices have no direct effect on them. Due to missing characterization factors for human toxicity and uncertainty related to

this impact category, we chose not to study it although there are lots of concerns about pesticide impacts on human health in viticulture.

Globally, impact score differences between organic and integrated TMR are mainly due to differences in soil management and plant protection treatments. Concerning soil management, organic TMR consisted of one hilling, one ploughing back and two hoeings while, in integrated TMR, it consisted of only two chemical weedings. Moreover, there were 12 plant protection treatments in organic TMR while there are only 8 in integrated TMR. This difference is due to the type of products used: contact products that can easily be removed by the rain versus systemic products for integrated TMR that cannot. Higher impacts in organic TMR can thus be explained by a higher number of mechanic interventions. Indeed, fuel consumption is assumed to be proportional to working time and VOC, NO_x and CO emissions from fuel combustion are assumed to be proportional to fuel consumption.

Concerning plant protection treatments, as the spraying technique is always the same, impact scores of each treatment are the same for all impact categories, except freshwater ecotoxicity whose impact scores are more related to active ingredient emissions. Impact score differences for these six categories can thus be explained by a higher number of treatments for organic TMR. Impact differences for freshwater ecotoxicity can be explained by differences in the amount of active ingredient used and its nature, especially during non-productive phases.

If a lower yield is considered for the organic vineyard compared to the integrated one, impact scores per kg of grapes are heightened for organic TMR. Consequently, the gap between integrated and organic TMRs is widening except for freshwater ecotoxicity.

A TMR aims to produce grapes, a specific quality of grape. This quality is very important in labelled productions like AOC wines where the quality is specified by requirement specifications. In future studies, we will study the eco-efficiency of TMRs relative to the grape quality requirements, which has not been realised at the moment in published viticultural LCA studies.

CONCLUSION

Viticulture is starting to improve its environmental performances in order to fulfill consumers' expectations and environmental regulations. In this context, LCA can help viticulture finding solutions to reduce its environmental impacts and show its improvements. There are few studies about environmental impacts of viticultural techniques in the bibliography.

This study indicates that the environmental impacts of the two studied TMRs are primarily due to fuel consumption. Indeed, viticulture is a large fuel consumer and emissions from its consumption have several impacts on the environment (global warming, acidification, photochemical ozone formation). The second main contributor to viticulture's impacts is nitrate emissions to water which contribute to eutrophication. However, the nitrate emission model SQCB needs improvements to be better adapted to viticulture (e.g. taking into account: nitrogen stock from nitrogen inputs of previous years, nitrogen uptake by grass, seasonality of nitrate leaching).

Concerning methodological issues, LCA applied to viticulture needs accurate models to quantify emissions to the environment. Improving the quality of models concerning nitrate and heavy metal emission should be a future improvement in viticultural LCA studies, especially concerning background emissions (e.g. taking into account the real quantity of nitrogen and heavy metals from previous years). Furthermore, this study enables showing there is a lack of data concerning fuel consumptions and gas emissions from viticultural machines.

In this paper, we also show that the studied organic TMR has higher impact scores than the studied integrated TMR for fossil resource demand, global warming potential, photochemical ozone formation potential, acidification eutrophication and resource depletion. Integrated TMR impact score for freshwater ecotoxicity is also lower than the organic one but this difference cannot be considered significant regarding uncertainties on background emissions. Additionally, this score does not account for impacts of pesticide degradation metabolites that are until now largely unknown and that can be also toxic and in important quantities. Moreover, impacts on human toxicity have not been taken into account due to missing characterization factors for several active ingredients used in viticulture. Characterization factors are key data in LCA as they enable transforming a quantity of input into its quantity of impact (e.g. 1 kg of CH₄ emitted to air equals 25 kg of CO₂ eq emitted, 1 kg of the active ingredient "folpet" emitted to water equals 8.63 units of impact on human toxicity, etc.).

In coming studies, accounting for grape quality while evaluating environmental performances of quality wine production will be important in order to help decision-making about techniques and TMR choices.

In order to be able to make conclusions on impact sources of these two TMRs and on benefits and drawbacks of both integrated and organic productions, our results should be supported

with results on different vintages. Different climate and geographic conditions should be also studied.

Acknowledgements: The authors thank the winegrower who provided the necessary data for this study. They also thank E. Bezuidenhoud and D. Boudiaf, who participated to data collection. This study would not have been possible without the financial support of CASDAR, CPER, InterLoire, the Pays de la Loire Region and the French environmental agency ADEME and all those who were involved, in whatever capacity, in this study.

REFERENCES

ADEME, 2014. Développement durable – Grenelle de l'environnement – Présentation, Available at: <http://www2.ademe.fr/servlet/KBaseShow?sort=-1&cid=96&m=3&catid=22682> (Access date 06/08/2014).

AgenceBio, 2014. La bio en France, Available at: <http://www.agencebio.org/la-bio-en-france> (Access date 06/08/2014).

Agreste, 2012. Pratiques phytosanitaires dans la viticulture en 2010, Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt.

Agroscope, 2014. Analyse de cycle de vie et de durabilité : méthodes, données et outils, Available at: <http://www.agroscope.admin.ch/oekobilanzen/01199/index.html?lang=fr>.

Andersson K., 2000. LCA of food products and production systems. *Int. J. LCA*, 5, 239-248.

Bellon-Maurel V., Peters G.M., Clermidy S., Frizarin G., Sinfort C., Ojeda H., Roux P., Short M.D., 2015. Streamlining life cycle inventory data generation in agriculture using traceability data and information and communication technologies–part II: application to viticulture. *J. Clean. Prod.*, 87, 119-129.

Benoist A., Dron D., Rabl A., Zoughaib A., 2008. Méthodologie de l'analyse de cycle de vie – Normes et méthodes courantes, Mines Paris Paris Tech.

Bessou C., Basset-Mens C., Tran T., Benoist A., 2013. LCA applied to perennial cropping systems: a review focused on the farm stage. *Int. J. LCA*, 18, 340-361.

Boulangier-Fassier S., 2008. La viticulture durable, une démarche en faveur de la pérennisation des territoires viticoles français ? *GéoCarrefour*, 83, 181-190.

E-phy, 2014. Catalogue des produits phytopharmaceutiques et de leurs usages des matières fertilisantes et des supports de culture homologués en France, Available at: <http://e-phy.agriculture.gouv.fr/>.

Faist-Emmenegger M., Reinhard J., Zah R., 2009. SQCB – Sustainability quick check for biofuels: background report, Dü bendorf: EMPA.

FARRE, 2014. FARRE : 10 questions-réponses sur l'Agriculture Raisonnée, Available at: <http://www.farre.org/index.php?id=93> (Access date 15/12/2015).

Foster G., 2005. RUSLE 2.0 science documentation (Draft), USDA – Agricultural Research Service, Washington, DC.

Freiermuth R., 2006. Modell zur Berechnung der Schwermetall-flüsse in der landwirtschaftlichen Ökobilanz, Agroscope.

Fusi A., Guidetti R., Benedetto G., 2014. Delving into the environmental aspect of a Sardinian white wine: from partial to total life cycle assessment. *Sci. Total. Environ.*, 472, 989-1000.

Gaviglio C., 2009. Etude des performances énergétiques des matériels viticoles, IFV.

Gazulla C., Raugei M., Fullana-i-Palmer P., 2010. Taking a life cycle look at crianza wine production in Spain: where are the bottlenecks? *Int. J. LCA*, 15, 330-337.

Gazzarin C., 2011. Coûts – machines 2011. Rapport ART 747, Station de recherche Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, Ettenhausen.

Hutchings N., Webb J., Amon B., 2013. Crop production and agricultural soils. In: EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook, European Environment Agency.

ISO, 2006a. ISO 14040 – Environmental management -- Life cycle assessment -- Principles and framework.

ISO, 2006b. ISO 14044 – Environmental management -- Life cycle assessment -- Requirements and guidelines.

Jolliet O., Saadé M., Crettaz P., Shaked S., 2010. Analyse du cycle de vie : comprendre et réaliser un écobilan, PPUR.

Jourjon F., Symoneaux R., 2013. Perception des consommateurs et intérêt d'un étiquetage environnemental pour les productions de vins d'AOP. *Rev. Oenol.*, 148, 53-56.

Jourjon F., Sigwalt A., Symoneaux R., 2015. Démarche et affichage environnementaux (Partie 1/3) Etat des lieux et enjeux pour la filière vitivinicole. *Rev. Oenol.*, 157, 49-51.

Koch P., Salou T., 2014. AGRIBALYSE®: METHODOLOGY, Version 1.1, ADEME.

Nemecek T., Heil A., Huguenin O., Meier S., Erzinger S., Blaser S., Dux D., Zimmermann A., 2007. Life cycle inventories of agricultural production systems, data V2.0, Agroscope.

Nemecek T., Schnetzer J., 2011. Methods of assessment of direct field emissions for LCIs of agricultural production systems, Agroscope.

Neto B., Dias A.C., Machado M., 2013. Life cycle assessment of the supply chain of a Portuguese wine: from viticulture to distribution. *Int. J. LCA*, 18, 590-602.

Niccolucci V., Galli A., Kitzes J., Pulselli R.M., Borsa S., Marchettini N., 2008. Ecological footprint analysis applied to the production of two Italian wines. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 128, 162-166.

Nicoletti G., Notarnicola B., Tassielli G., 2001. Comparison of conventional and organic wine. In: *Proceedings of LCA Food 2001*, pp. 48-52.

Pizzigallo A., Granai C., Borsa S., 2008. The joint use of LCA and emergy evaluation for the analysis of two Italian wine farms. *J. Environ. Manage.*, 86, 396-406.

Point E., Tyedmers P., Naugler C., 2012. Life cycle environmental impacts of wine production and consumption in Nova Scotia, Canada. *J. Clean. Prod.*, 27, 11-20.

- Renaud C., Benoit M., Jourjon F., 2010. Trade-offs between quality and environment in wine production: presentation of a research program for their combined assessment. In: Proceedings of LCA Food 2010 (vol.2), pp. 241-246.
- Renaud-Gentié C., Burgos S., Benoît M., 2014a. Choosing the most representative technical management routes within diverse management practices: application to vineyards in the Loire Valley for environmental and quality assessment. *Eur. J. Agron.*, 56, 19-36.
- Renaud-Gentié C., Dijkman T.J., Bjorn A., Birkved M., 2014b. Modeling pesticides emissions for Grapevine Life Cycle Assessment: adaptation of Pest-LCI model to viticulture. In: Proceedings of LCA Food 2014, pp. 1075-1085.
- Renaud-Gentié C., 2015. 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. Thèse de Doctorat, Université d'Angers.
- Renaud-Gentié C., Dijkman T.J., Bjørn A., Birkved M., 2015. Pesticide emission modelling and freshwater ecotoxicity assessment for Grapevine LCA: adaptation of PestLCI 2.0 to viticulture. *Int. J. LCA*, 20, 1528-1543.
- République Française, 2014a. Loi n° 2009-967 du 3 août 2009 de programmation relative à la mise en œuvre du Grenelle de l'environnement (1), Available at: <http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000020949548>.
- République Française, 2014b. Loi n° 2010-788 du 12 juillet 2010 portant engagement national pour l'environnement (1), Available at: <http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000022470434>.
- Reynier A., 2011. Manuel de viticulture : Guide technique du viticulteur, Tec & Doc Lavoisier.
- Roy P., Nei D., Orikasa T., Xu Q., Okadome H., Nakamura N., Shiina T., 2009. A review of life cycle assessment (LCA) on some food products. *J. Food Eng.*, 90, 1-10.
- Rugani B., Vázquez-Rowe I., Benedetto G., Benetto E., 2013. A comprehensive review of carbon footprint analysis as an extended environmental indicator in the wine sector. *J. Clean. Prod.*, 54, 61-77.
- Ruviaro C.F., Gianezini M., Brandão F.S., Winck C.A., Dewes H., 2012. Life cycle assessment in Brazilian agriculture facing worldwide trends. *J. Clean. Prod.*, 28, 9-24.
- Stoate C., Báldi A., Beja P., Boatman N.D., Herzon I., Van Doorn A., De Snoo G.R., Rakosy L., Ramwell C., 2009. Ecological impacts of early 21st century agricultural change in Europe—a review. *J. Environ. Manage.*, 91, 22-46.
- Symoneaux R., Jourjon F., 2013. Comment le niveau d'implication des consommateurs de vin modifie leurs perceptions et attentes d'un affichage environnemental du vin ? *Bull. OIV*, 86, 451-460.
- Tilman D., Cassman K.G., Matson P.A., Naylor R., Polasky S., 2002. Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*, 418, 671-677.

Van der Werf H.M., Petit J., 2002. Evaluation of the environmental impact of agriculture at the farm level: a comparison and analysis of 12 indicator-based methods. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 93, 131-145.

Vázquez-Rowe I., Villanueva-Rey P., Moreira M.T., Feijoo G., 2012. Environmental analysis of Ribeiro wine from a timeline perspective: harvest year matters when reporting environmental impacts. *J. Environ. Manage.*, 98, 73-83.

Villanueva-Rey P., Vázquez-Rowe I., Moreira M.T., Feijoo G., 2014. Comparative life cycle assessment in the wine sector: biodynamic vs. conventional viticulture activities in NW Spain. *J. Clean. Prod.*, 65, 330-341.

Willer H., 2013. EU rules for organic wine production – Background, evaluation and further development, IFOAM.

Annexe 2 : Tableaux de scores d'impact pour les TMR initiaux et éco-conçus

Catégorie d'impact	Climate change	Particulate matter formation	Ozone depletion	Photochemical oxidant formation	Freshwater ecotoxicity	Marine ecotoxicity	Freshwater eutrophication
Unité	kg CO2 eq	kg PM10 eq	kg CFC-11 eq	kg NMVOC	CTUe	kg 1,4-DB eq	kg P eq
71 Prêtaille 20/11/2015 TMR1_S1	5,4E+01	1,8E-01	6,7E-06	6,3E-01	1,3E+00	4,4E-02	5,6E-04
61 Taille vigne 15/01 TMR1_S1	3,0E+00	4,1E-03	3,5E-07	1,1E-02	2,7E-01	5,2E-03	3,0E-04
72 Broyage sarments 20/02 TMR1_S1	2,3E+01	8,2E-02	2,7E-06	2,9E-01	7,0E-01	2,1E-02	3,7E-04
51 Desherbage chimique 05/04 TMR1_S1	1,8E+01	4,9E-02	3,4E-06	1,6E-01	2,4E+00	2,7E-02	8,1E-03
52 Gyrobroyage 05/05 TMR1_S1	1,3E+01	4,4E-02	1,7E-06	1,5E-01	4,2E-01	1,2E-02	2,2E-04
62 Ebourgeonnage 17/05 TMR1_S1	1,6E+00	1,6E-03	2,3E-07	5,3E-03	4,2E-02	1,3E-03	3,8E-05
81 Traitement du 26/05 TMR1_S1	2,8E+01	1,3E-01	3,8E-06	3,6E-01	2,0E+03	3,7E-01	4,1E-04
82 Traitement du 07/06 TMR1_S1	2,9E+01	1,0E-01	4,0E-06	3,5E-01	1,9E+01	3,6E-02	7,5E-04
63 Accolage 09/06 TMR1_S1	2,2E+00	4,3E-03	9,7E-08	7,1E-03	7,1E-02	9,2E-04	3,2E-05
83 Traitement du 21/06 TMR1_S1	4,1E+01	1,2E-01	1,4E-05	3,8E-01	1,4E+02	8,9E-02	3,9E-03
64 Ebourgeonnage 01/07 TMR1_S1	1,6E+00	1,6E-03	2,3E-07	5,3E-03	4,2E-02	1,3E-03	3,8E-05
65 Accolage 01/07 TMR1_S1	1,1E+00	2,2E-03	4,9E-08	3,6E-03	3,6E-02	4,6E-04	1,6E-05
53 Gyrobroyage 01/07 TMR1_S1	1,3E+01	4,4E-02	1,7E-06	1,5E-01	4,2E-01	1,2E-02	2,2E-04
73 Rognages 04/07 TMR1_S1	2,7E+01	9,2E-02	3,4E-06	3,2E-01	6,7E-01	2,2E-02	2,9E-04
84 Traitement du 04/07 TMR1_S1	4,0E+01	1,1E-01	1,3E-05	3,8E-01	1,3E+02	6,6E-02	3,6E-03
66 Effeuilage 07/07 TMR1_S1	5,9E-01	6,0E-04	8,5E-08	2,0E-03	1,6E-02	4,7E-04	1,4E-05
54 Desherbage chimique 20/07 TMR1_S1	1,8E+01	4,9E-02	3,4E-06	1,6E-01	2,4E+00	2,7E-02	8,1E-03
74 Rognages 20/07 TMR1_S1	2,7E+01	9,2E-02	3,4E-06	3,2E-01	6,7E-01	2,2E-02	2,9E-04
85 Traitement du 22/07 TMR1_S1	3,1E+01	1,9E-01	3,6E-06	4,1E-01	1,4E+04	2,6E-01	4,1E-02
75 Rognages 03/08 TMR1_S1	2,7E+01	9,2E-02	3,4E-06	3,2E-01	6,7E-01	2,2E-02	2,9E-04
76 Rognages 20/08 TMR1_S1	2,7E+01	9,2E-02	3,4E-06	3,2E-01	6,7E-01	2,2E-02	2,9E-04
55 Gyrobroyage 01/09 TMR1_S1	1,3E+01	4,4E-02	1,7E-06	1,5E-01	4,2E-01	1,2E-02	2,2E-04
91 Vendanges manuelles Crémant TMR1_S1	4,2E+00	1,2E-02	5,4E-07	4,1E-02	1,2E-01	3,6E-03	7,0E-05
92 Vendanges manuelles TMR1_S1	5,0E+00	1,3E-02	6,5E-07	4,4E-02	1,4E-01	4,3E-03	9,0E-05

Annexe 2-a : Scores d'impact total et scores d'impact de chaque pratique du TMR1_S1 initial pour les 7 premières catégories d'impact prises en compte

Catégorie d'impact	Marine eutrophication	Terrestrial ecotoxicity	Terrestrial acidification	Fossil depletion	Metal depletion	Water depletion	Agricultural land occupation
Unité	kg N eq	kg 1,4-DB eq	kg SO2 eq	kg oil eq	kg Fe eq	m3	m2a
71 Prêtaille 20/11/2015 TMR1_S1	2,2E-02	2,0E-03	4,0E-01	1,8E+01	2,3E+00	2,3E-01	1,1E-01
61 Taille vigne 15/01 TMR1_S1	3,2E-04	2,0E-04	9,7E-03	8,9E-01	9,1E-01	5,5E-02	1,6E+00
72 Broyage sarments 20/02 TMR1_S1	1,0E-02	9,7E-04	1,8E-01	7,5E+00	2,2E+00	1,2E-01	8,1E-02
51 Desherbage chimique 05/04 TMR1_S1	7,0E-03	3,7E-03	1,1E-01	6,2E+00	1,3E+00	7,1E-01	2,1E-01
52 Gyrobroyage 05/05 TMR1_S1	5,2E-03	5,8E-04	9,5E-02	4,5E+00	1,0E+00	6,9E-02	4,6E-02
62 Ebourgeonnage 17/05 TMR1_S1	1,3E-04	7,7E-05	3,8E-03	5,3E-01	1,0E-01	1,6E-02	7,7E-03
81 Traitement du 26/05 TMR1_S1	1,3E-02	1,2E-02	3,7E-01	9,4E+00	1,3E+00	2,8E-01	7,7E-02
82 Traitement du 07/06 TMR1_S1	1,6E-02	2,7E-03	2,5E-01	9,3E+00	1,6E+00	4,4E-01	1,5E-01
63 Accolage 09/06 TMR1_S1	2,6E-04	7,8E-05	1,2E-02	1,1E+00	3,1E-02	6,5E-02	1,9E-03
83 Traitement du 21/06 TMR1_S1	6,0E-02	4,2E-01	2,8E-01	1,4E+01	3,7E+00	9,9E-01	3,2E-01
64 Ebourgeonnage 01/07 TMR1_S1	1,3E-04	7,7E-05	3,8E-03	5,3E-01	1,0E-01	1,6E-02	7,7E-03
65 Accolage 01/07 TMR1_S1	1,3E-04	3,9E-05	6,1E-03	5,6E-01	1,5E-02	3,2E-02	9,6E-04
53 Gyrobroyage 01/07 TMR1_S1	5,2E-03	5,8E-04	9,5E-02	4,5E+00	1,0E+00	6,9E-02	4,6E-02
73 Rognages 04/07 TMR1_S1	1,1E-02	1,0E-03	2,0E-01	9,1E+00	1,3E+00	1,2E-01	6,0E-02
84 Traitement du 04/07 TMR1_S1	5,9E-02	4,1E-01	2,7E-01	1,4E+01	3,5E+00	9,2E-01	3,0E-01
66 Effeuilage 07/07 TMR1_S1	4,7E-05	2,9E-05	1,4E-03	2,0E-01	3,9E-02	5,8E-03	2,9E-03
54 Desherbage chimique 20/07 TMR1_S1	7,0E-03	3,7E-03	1,1E-01	6,2E+00	1,3E+00	7,1E-01	2,1E-01
74 Rognages 20/07 TMR1_S1	1,1E-02	1,0E-03	2,0E-01	9,1E+00	1,3E+00	1,2E-01	6,0E-02
85 Traitement du 22/07 TMR1_S1	4,3E-02	2,9E+00	4,8E-01	1,0E+01	6,5E+01	6,7E+01	2,4E-01
75 Rognages 03/08 TMR1_S1	1,1E-02	1,0E-03	2,0E-01	9,1E+00	1,3E+00	1,2E-01	6,0E-02
76 Rognages 20/08 TMR1_S1	1,1E-02	1,0E-03	2,0E-01	9,1E+00	1,3E+00	1,2E-01	6,0E-02
55 Gyrobroyage 01/09 TMR1_S1	5,2E-03	5,8E-04	9,5E-02	4,5E+00	1,0E+00	6,9E-02	4,6E-02
91 Vendanges manuelles Crémant TMR1_S1	1,4E-03	1,8E-04	2,6E-02	1,4E+00	2,3E-01	2,7E-02	1,6E-02
92 Vendanges manuelles TMR1_S1	1,5E-03	2,2E-04	2,8E-02	1,7E+00	2,8E-01	3,5E-02	1,9E-02

Annexe 2-b : Scores d'impact total et scores d'impact de chaque pratique du TMR1_S1 initial pour les 7 dernières catégories d'impact prises en compte

CodePratique	Changement Climatique	Formation de particules	Diminution de la couche d'ozone	Formation d'oxydants photochimiques	Ecotoxicité en eaux douces	Ecotoxicité marine	Eutrophisation en eaux douces
92_TMR1_S1	5,0E+00	1,3E-02	6,5E-07	4,3E-02	1,4E-01	4,2E-03	8,8E-05
91_TMR1_S1	4,2E+00	1,2E-02	5,4E-07	4,1E-02	1,2E-01	3,6E-03	7,0E-05
53_C_TMR1_S1	2,8E+01	9,3E-02	3,4E-06	3,2E-01	7,0E-01	2,3E-02	3,1E-04
83_alt2_PR_TMR1_S1	2,9E+01	8,2E-02	8,9E-06	2,7E-01	9,0E+01	4,4E-02	2,6E-03
53_C_TMR1_S1	2,8E+01	9,3E-02	3,4E-06	3,2E-01	7,0E-01	2,3E-02	3,1E-04
54_TMR1_S1	1,8E+01	4,9E-02	3,4E-06	1,6E-01	2,4E+00	2,7E-02	8,1E-03
66_TMR1_S1	5,9E-01	6,0E-04	8,5E-08	2,0E-03	1,6E-02	4,7E-04	1,4E-05
83_alt2_PR_TMR1_S1	2,8E+01	8,1E-02	8,1E-06	2,7E-01	7,9E+01	4,1E-02	2,3E-03
62_TMR1_S1	1,6E+00	1,6E-03	2,3E-07	5,3E-03	4,2E-02	1,3E-03	3,8E-05
53_TMR1_S1	1,3E+01	4,4E-02	1,7E-06	1,5E-01	4,2E-01	1,2E-02	2,2E-04
53_C_TMR1_S1	2,8E+01	9,3E-02	3,4E-06	3,2E-01	7,0E-01	2,3E-02	3,1E-04
83_PR_TMR1_S1	2,8E+01	8,1E-02	8,3E-06	2,7E-01	8,2E+01	4,7E-02	2,4E-03
63_TMR1_S1	2,2E+00	4,3E-03	9,7E-08	7,1E-03	7,1E-02	9,2E-04	3,2E-05
82_PR_TMR1_S1	1,7E+01	6,1E-02	2,3E-06	2,0E-01	8,6E+00	2,2E-02	4,6E-04
81_alt_PR_TMR1_S1	1,7E+01	7,0E-02	2,0E-06	2,1E-01	2,1E+00	1,6E-02	1,5E-03
64_TMR1_S1	1,6E+00	1,6E-03	2,3E-07	5,3E-03	4,2E-02	1,3E-03	3,8E-05
52_TMR1_S1	1,3E+01	4,4E-02	1,7E-06	1,5E-01	4,2E-01	1,2E-02	2,2E-04
51_TMR1_S1	1,8E+01	4,9E-02	3,4E-06	1,6E-01	2,4E+00	2,7E-02	8,1E-03
72_TMR1_S1	2,3E+01	8,3E-02	2,7E-06	2,9E-01	7,2E-01	2,1E-02	3,8E-04
61_TMR1_S1	3,5E+00	5,2E-03	3,9E-07	1,3E-02	3,0E-01	6,0E-03	3,5E-04

Annexe 2-c : Scores d'impact total et scores d'impact de chaque pratique du TMR1_S1 éco-conçu pour les 7 premières catégories d'impact prises en compte

CodePratique	Eutrophisation marine	Ecotoxicité terrestre	Acidification terrestre	Diminution des ressources fossiles	Diminution des ressources en métaux	Diminution des ressources en eau	Occupation de terres agricoles
92_TMR1_S1	1,4E-03	2,2E-04	2,8E-02	1,7E+00	2,7E-01	3,4E-02	1,9E-02
91_TMR1_S1	1,4E-03	1,8E-04	2,6E-02	1,4E+00	2,3E-01	2,7E-02	1,6E-02
53_C_TMR1_S1	1,1E-02	1,1E-03	2,0E-01	9,2E+00	1,6E+00	1,2E-01	6,6E-02
83_alt2_PR_TMR1_S1	3,9E-02	6,6E-02	1,9E-01	9,7E+00	3,2E+00	6,9E-01	2,3E-01
53_C_TMR1_S1	1,1E-02	1,1E-03	2,0E-01	9,2E+00	1,6E+00	1,2E-01	6,6E-02
54_TMR1_S1	7,0E-03	3,7E-03	1,1E-01	6,2E+00	1,3E+00	7,1E-01	2,1E-01
66_TMR1_S1	4,7E-05	2,9E-05	1,4E-03	2,0E-01	3,9E-02	5,8E-03	2,9E-03
83_alt2_PR_TMR1_S1	3,5E-02	6,5E-02	1,9E-01	9,3E+00	3,1E+00	6,3E-01	2,1E-01
62_TMR1_S1	1,3E-04	7,7E-05	3,8E-03	5,3E-01	1,0E-01	1,6E-02	7,7E-03
53_TMR1_S1	5,2E-03	5,8E-04	9,5E-02	4,5E+00	1,0E+00	6,9E-02	4,6E-02
53_C_TMR1_S1	1,1E-02	1,1E-03	2,0E-01	9,2E+00	1,6E+00	1,2E-01	6,6E-02
83_PR_TMR1_S1	3,7E-02	7,0E-02	1,9E-01	9,4E+00	3,1E+00	6,5E-01	2,2E-01
63_TMR1_S1	2,6E-04	7,8E-05	1,2E-02	1,1E+00	3,1E-02	6,5E-02	1,9E-03
82_PR_TMR1_S1	8,7E-03	1,5E-03	1,4E-01	5,5E+00	1,6E+00	2,9E-01	9,9E-02
81_alt_PR_TMR1_S1	8,2E-03	1,2E-03	1,9E-01	5,5E+00	1,4E+00	2,1E-01	6,8E-02
64_TMR1_S1	1,3E-04	7,7E-05	3,8E-03	5,3E-01	1,0E-01	1,6E-02	7,7E-03
52_TMR1_S1	5,2E-03	5,8E-04	9,5E-02	4,5E+00	1,0E+00	6,9E-02	4,6E-02
51_TMR1_S1	7,0E-03	3,7E-03	1,1E-01	6,2E+00	1,3E+00	7,1E-01	2,1E-01
72_TMR1_S1	1,0E-02	9,9E-04	1,8E-01	7,6E+00	2,3E+00	1,2E-01	8,5E-02
61_TMR1_S1	4,1E-04	2,4E-04	1,2E-02	1,0E+00	1,0E+00	6,6E-02	3,2E+00

Annexe 2-d : Scores d'impact total et scores d'impact de chaque pratique du TMR1_S1 éco-conçu pour les 7 dernières catégories d'impact prises en compte

Catégorie d'impact	Climate change	Particulate matter formation	Ozone depletion	Photochemical oxidant formation	Freshwater ecotoxicity	Marine ecotoxicity	Freshwater eutrophication
Unité	kg CO2 eq	kg PM10 eq	kg CFC-11 eq	kg NMVOC	CTUe	kg 1,4-DB eq	kg P eq
81 Traitement du 13/10 TMR2_S1	1,0E+01	3,7E-02	1,2E-06	1,4E-01	2,4E-01	8,0E-03	1,0E-04
61 Entretien Palissage 02/11 TMR2_S1	7,9E-02	8,0E-05	1,1E-08	2,6E-04	2,1E-03	6,3E-05	1,9E-06
51 Passage de disques 23/11 TMR2_S1	5,6E+01	1,8E-01	6,9E-06	5,9E-01	1,5E+00	4,7E-02	7,0E-04
52 Labour Superficiel 10/03 TMR2_S1	4,9E+01	1,7E-01	5,7E-06	5,5E-01	1,6E+00	4,7E-02	8,7E-04
53 Passage de lames 15/03 TMR2_S1	3,5E+01	1,1E-01	4,4E-06	3,7E-01	9,7E-01	3,1E-02	4,7E-04
62 Taille vigne 15/03 TMR2_S1	3,3E+00	4,5E-03	3,8E-07	1,2E-02	2,9E-01	5,7E-03	3,3E-04
82 Traitement du 16/03 TMR2_S1	1,0E+01	3,7E-02	1,2E-06	1,4E-01	2,4E-01	8,0E-03	1,0E-04
83 Traitement du 17/03 TMR2_S1	1,0E+01	3,7E-02	1,2E-06	1,4E-01	2,4E-01	8,0E-03	1,0E-04
54 Passage de lames 21/03 TMR2_S1	4,3E+01	1,4E-01	5,3E-06	4,6E-01	1,2E+00	3,7E-02	5,5E-04
55 Passage de lames 05/04 TMR2_S1	3,1E+01	9,8E-02	3,7E-06	3,2E-01	8,5E-01	2,7E-02	4,1E-04
42 Fertilisation minérale 21/04 TMR2_S1	5,9E+01	2,6E-01	1,3E-06	4,7E-01	2,6E+02	1,1E+00	8,0E-04
56 Désherbage Manuel 23/04 TMR2_S1	6,5E-01	7,3E-04	8,9E-08	2,2E-03	2,0E-02	5,7E-04	1,8E-05
85 Traitement du 25/04 TMR2_S1	1,0E+01	3,7E-02	1,2E-06	1,4E-01	2,4E-01	8,0E-03	1,0E-04
86 Traitement du 26/04 TMR2_S1	1,0E+01	3,7E-02	1,2E-06	1,4E-01	2,4E-01	8,0E-03	1,0E-04
87 Traitement du 20/05 TMR2_S1	1,0E+01	5,2E-02	1,2E-06	1,5E-01	7,4E+02	1,7E-02	1,5E-04
88 Traitement du 31/05 TMR2_S1	1,0E+01	3,7E-02	1,2E-06	1,4E-01	2,4E-01	8,0E-03	1,0E-04
89 Traitement du 02/06 TMR2_S1	1,0E+01	5,0E-02	1,2E-06	1,7E-01	1,8E+03	3,0E-02	2,1E-04
8-10 Traitement du 09/06 TMR2_S1	1,0E+01	3,7E-02	1,2E-06	1,4E-01	2,4E-01	8,0E-03	1,0E-04
8-11 Traitement du 10/06 TMR2_S1	1,5E+01	5,7E-02	1,8E-06	2,5E-01	2,6E+03	4,2E-02	3,0E-04
8-12 Traitement du 17/06 TMR2_S1	1,6E+01	6,9E-02	1,9E-06	2,9E-01	4,4E+03	6,5E-02	4,1E-04
64 Accolage 21/06 TMR2_S1	3,5E-01	3,5E-04	4,9E-08	1,2E-03	9,1E-03	2,8E-04	8,3E-06
8-13 Traitement du 22/06 TMR2_S1	1,5E+01	5,8E-02	1,8E-06	2,7E-01	3,3E+03	5,1E-02	3,5E-04
8-14 Traitement du 04/07 TMR2_S1	1,5E+01	7,5E-02	1,8E-06	2,2E-01	9,3E-01	1,3E-02	1,8E-04
65 Accolage 11/07 TMR2_S1	3,6E-01	3,6E-04	5,2E-08	1,2E-03	9,5E-03	2,9E-04	8,7E-06
8-15 Traitement du 12/07 TMR2_S1	1,7E+01	9,2E-02	2,0E-06	2,9E-01	3,8E+03	5,9E-02	3,9E-04
66 Accolage 19/07 TMR2_S1	4,4E-01	4,4E-04	6,2E-08	1,4E-03	1,1E-02	3,5E-04	1,0E-05
8-16 Traitement du 02/08 TMR2_S1	1,5E+01	5,7E-02	1,8E-06	2,5E-01	2,6E+03	4,3E-02	3,1E-04
63 Ebourgeonnage 07/06 TMR2_S1	2,4E+00	2,4E-03	3,4E-07	7,9E-03	6,3E-02	1,9E-03	5,7E-05

67 Effeuilage 26/09 TMR2_S1	2,6E-01	2,6E-04	3,6E-08	8,5E-04	6,7E-03	2,0E-04	6,1E-06
91 Vendanges manuelles 28/09 TMR2_S1	4,2E+00	1,2E-02	5,5E-07	4,0E-02	8,6E-02	3,1E-03	4,3E-05

Annexe 2-e : Scores d'impact total et scores d'impact de chaque pratique du TMR2_S1 initial pour les 7 premières catégories d'impact prises en compte

Catégorie d'impact	Marine eutrophication	Terrestrial ecotoxicity	Terrestrial acidification	Fossil depletion	Metal depletion	Water depletion	Agricultural land occupation
Unité	kg N eq	kg 1,4-DB eq	kg SO2 eq	kg oil eq	kg Fe eq	m3	m2a
81 Traitement du 13/10 16VALA49	4,7E-03	3,7E-04	8,2E-02	3,3E+00	3,6E-01	7,7E-02	2,0E-02
61 Entretien Palissage 02/11 16VALA49	6,3E-06	3,8E-06	1,9E-04	2,7E-02	5,2E-03	7,8E-04	3,8E-04
51 Passage de disques 23/11 16VALA49	2,1E-02	2,2E-03	3,8E-01	1,9E+01	2,9E+00	2,5E-01	1,4E-01
52 Labour Superficiel 10/03 16VALA49	1,9E-02	2,2E-03	3,5E-01	1,6E+01	7,1E+00	2,7E-01	2,1E-01
53 Passage de lames 15/03 16VALA49	1,3E-02	1,4E-03	2,4E-01	1,2E+01	2,2E+00	1,6E-01	9,8E-02
62 Taille vigne 15/03 16VALA49	3,5E-04	2,2E-04	1,1E-02	9,7E-01	9,9E-01	6,1E-02	1,8E+00
82 Traitement du 16/03 16VALA49	4,7E-03	3,7E-04	8,2E-02	3,3E+00	3,6E-01	7,7E-02	2,0E-02
83 Traitement du 17/03 16VALA49	4,7E-03	3,7E-04	8,2E-02	3,3E+00	3,6E-01	7,7E-02	2,0E-02
54 Passage de lames 21/03 16VALA49	1,6E-02	1,7E-03	2,9E-01	1,4E+01	2,5E+00	2,0E-01	1,1E-01
55 Passage de lames 05/04 16VALA49	1,1E-02	1,2E-03	2,1E-01	1,0E+01	2,1E+00	1,4E-01	8,7E-02
42 Fertilisation minérale 21/04 16VALA49	2,1E-02	1,9E-03	2,8E-01	4,4E+00	1,0E+00	4,0E-01	1,2E-01
56 Désherbage Manuel 23/04 16VALA49	5,3E-05	3,3E-05	1,6E-03	2,2E-01	7,9E-02	6,6E-03	3,8E-03
85 Traitement du 25/04 16VALA49	4,7E-03	3,7E-04	8,2E-02	3,3E+00	3,6E-01	4,2E-02	2,0E-02
86 Traitement du 26/04 16VALA49	4,7E-03	3,7E-04	8,2E-02	3,3E+00	3,6E-01	4,2E-02	2,0E-02
87 Traitement du 20/05 16VALA49	4,6E-03	1,5E-01	1,6E-01	3,3E+00	5,5E-01	1,4E+00	3,3E-02
88 Traitement du 31/05 16VALA49	4,7E-03	3,7E-04	8,2E-02	3,3E+00	3,6E-01	7,7E-02	2,0E-02
89 Traitement du 02/06 16VALA49	4,7E-03	3,8E-01	1,5E-01	3,5E+00	6,7E-01	3,2E+00	5,0E-02
8-10 Traitement du 09/06 16VALA49	4,7E-03	3,7E-04	8,2E-02	3,3E+00	3,6E-01	7,7E-02	2,0E-02
8-11 Traitement du 10/06 16VALA49	7,1E-03	5,3E-01	1,3E-01	5,0E+00	1,0E+00	4,4E+00	7,2E-02
8-12 Traitement du 17/06 16VALA49	7,2E-03	9,0E-01	1,8E-01	5,4E+00	1,2E+00	7,5E+00	1,0E-01
64 Accolage 21/06 16VALA49	2,8E-05	1,7E-05	8,4E-04	1,2E-01	2,3E-02	3,4E-03	1,7E-03
8-13 Traitement du 22/06 16VALA49	7,1E-03	6,8E-01	1,3E-01	5,1E+00	1,1E+00	5,6E+00	8,4E-02
8-14 Traitement du 04/07 16VALA49	7,0E-03	6,0E-04	2,2E-01	4,9E+00	6,8E-01	7,8E-01	3,8E-02
65 Accolage 11/07 16VALA49	2,9E-05	1,8E-05	8,8E-04	1,2E-01	2,4E-02	3,5E-03	1,8E-03
8-15 Traitement du 12/07 16VALA49	7,3E-03	7,8E-01	2,9E-01	5,7E+00	1,2E+00	6,5E+00	9,3E-02
66 Accolage 19/07 16VALA49	3,5E-05	2,1E-05	1,1E-03	1,5E-01	2,9E-02	4,3E-03	2,1E-03
8-16 Traitement du 02/08 16VALA49	7,1E-03	5,5E-01	1,3E-01	5,0E+00	1,0E+00	4,6E+00	7,3E-02
63 Ebourgeonnage 07/06 16VALA49	1,9E-04	1,2E-04	5,8E-03	8,0E-01	1,6E-01	2,3E-02	1,2E-02
67 Effeuilage 26/09 16VALA49	2,0E-05	1,2E-05	6,2E-04	8,5E-02	1,7E-02	2,5E-03	1,2E-03

91 Vendanges manuelles 28/09 16VALA49	1,4E-03	1,6E-04	2,6E-02	1,4E+00	1,1E-01	2,2E-02	8,6E-03
--	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------

Annexe 2-f : Scores d'impact total et scores d'impact de chaque pratique du TMR2_S1 initial pour les 7 dernières catégories d'impact prises en compte

CodePratique	Changement Climatique	Formation de particules	Diminution de la couche d'ozone	Formation d'oxydants photochimiques	Ecotoxicité en eaux douces	Ecotoxicité marine	Eutrophisation en eaux douces
91_TMR2_S1	4,2E+00	1,2E-02	5,5E-07	4,0E-02	8,6E-02	3,1E-03	4,3E-05
67_TMR2_S1	2,6E-01	2,6E-04	3,6E-08	8,5E-04	6,7E-03	2,0E-04	6,1E-06
8-16_PR2_TMR2_S1	1,4E+01	6,6E-02	1,9E-06	2,0E-01	2,3E+03	2,0E-01	5,2E-03
89_PR2_TMR2_S1	1,4E+01	7,0E-02	1,8E-06	2,0E-01	1,4E+03	1,3E-01	3,3E-03
8-16_PR_TMR2_S1	1,3E+01	5,4E-02	1,5E-06	2,3E-01	1,6E+03	3,1E-02	2,8E-04
66_TMR2_S1	4,4E-01	4,4E-04	6,2E-08	1,4E-03	1,1E-02	3,5E-04	1,0E-05
57_DM1_TMR2_S1	1,5E+01	4,1E-02	1,9E-06	1,3E-01	4,9E-01	1,6E-02	3,2E-04
8-15_PR_TMR2_S1	1,5E+01	7,6E-02	1,7E-06	2,5E-01	2,4E+03	4,2E-02	3,4E-04
8-10_TMR2_S1	1,0E+01	3,7E-02	1,2E-06	1,4E-01	2,4E-01	8,0E-03	1,0E-04
8-13_PR_TMR2_S1	1,4E+01	5,4E-02	1,5E-06	2,3E-01	1,9E+03	3,4E-02	3,0E-04
57_DM1F_TMR2_S1	1,1E+01	3,4E-02	1,3E-06	1,1E-01	4,8E-01	1,2E-02	3,1E-04
88_TMR2_S1	1,0E+01	3,7E-02	1,2E-06	1,4E-01	2,4E-01	8,0E-03	1,0E-04
63_TMR2_S1	2,4E+00	2,4E-03	3,4E-07	7,9E-03	6,3E-02	1,9E-03	5,7E-05
86_TMR2_S1	1,0E+01	3,7E-02	1,2E-06	1,4E-01	2,4E-01	8,0E-03	1,0E-04
85_TMR2_S1	1,0E+01	3,7E-02	1,2E-06	1,4E-01	2,4E-01	8,0E-03	1,0E-04
56_TMR2_S1	6,5E-01	7,3E-04	8,9E-08	2,2E-03	2,0E-02	5,7E-04	1,8E-05
8-12_PR_TMR2_S1	1,4E+01	6,0E-02	1,6E-06	2,4E-01	2,4E+03	4,1E-02	3,3E-04
8-11_PR_TMR2_S1	1,3E+01	5,3E-02	1,5E-06	2,2E-01	1,3E+03	2,6E-02	2,6E-04
87_PR_TMR2_S1	1,3E+01	6,0E-02	1,6E-06	2,0E-01	3,1E+02	3,8E-02	8,8E-04
83_TMR2_S1	1,0E+01	3,7E-02	1,2E-06	1,4E-01	2,4E-01	8,0E-03	1,0E-04
57_DM2F_TMR2_S1	3,1E+01	1,0E-01	3,7E-06	3,4E-01	1,1E+00	3,2E-02	6,7E-04
82_TMR2_S1	1,0E+01	3,7E-02	1,2E-06	1,4E-01	2,4E-01	8,0E-03	1,0E-04
42_TMR2_S1	5,9E+01	2,6E-01	1,3E-06	4,7E-01	2,6E+02	1,1E+00	8,0E-04
57_DM2F_TMR2_S1	3,1E+01	1,0E-01	3,7E-06	3,4E-01	1,1E+00	3,2E-02	6,7E-04
62_TMR2_S1	3,3E+00	4,5E-03	3,8E-07	1,2E-02	2,9E-01	5,7E-03	3,3E-04
61_TMR2_S1	7,9E-02	8,0E-05	1,1E-08	2,6E-04	2,1E-03	6,3E-05	1,9E-06
81_TMR2_S1	1,0E+01	3,7E-02	1,2E-06	1,4E-01	2,4E-01	8,0E-03	1,0E-04

57_DM3F_TMR2_S1	1,7E+01	5,7E-02	2,0E-06	1,8E-01	7,5E-01	2,0E-02	4,7E-04
-----------------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------

Annexe 2-g : Scores d'impact total et scores d'impact de chaque pratique du TMR2_S1 éco-conçu pour les 7 premières catégories d'impact prises en compte

CodePratique	Eutrophisation marine	Ecotoxicité terrestre	Acidification terrestre	Diminution des ressources fossiles	Diminution des ressources en métaux	Diminution des ressources en eau	Occupation de terres agricoles
91_TMR2_S1	1,4E-03	1,6E-04	2,6E-02	1,4E+00	1,1E-01	2,2E-02	8,6E-03
67_TMR2_S1	2,0E-05	1,2E-05	6,2E-04	8,5E-02	1,7E-02	2,5E-03	1,2E-03
8-16_PR2_TMR2_S1	7,6E-03	4,6E-01	1,6E-01	4,3E+00	8,2E+00	1,0E+01	8,8E-02
89_PR2_TMR2_S1	7,3E-03	2,8E-01	1,9E-01	4,4E+00	5,5E+00	6,5E+00	7,1E-02
8-16_PR_TMR2_S1	6,7E-03	3,4E-01	1,2E-01	4,4E+00	1,4E+00	2,9E+00	6,8E-02
66_TMR2_S1	3,5E-05	2,1E-05	1,1E-03	1,5E-01	2,9E-02	4,3E-03	2,1E-03
57_DM1_TMR2_S1	4,2E-03	7,4E-04	8,5E-02	5,3E+00	1,7E+00	9,0E-02	6,9E-02
8-15_PR_TMR2_S1	6,8E-03	5,0E-01	2,3E-01	4,8E+00	1,5E+00	4,2E+00	8,2E-02
8-10_TMR2_S1	4,7E-03	3,7E-04	8,2E-02	3,3E+00	3,6E-01	7,7E-02	2,0E-02
8-13_PR_TMR2_S1	6,7E-03	3,9E-01	1,2E-01	4,4E+00	1,5E+00	3,3E+00	7,3E-02
57_DM1F_TMR2_S1	3,8E-03	5,7E-04	7,1E-02	3,6E+00	1,7E+00	7,4E-02	6,6E-02
88_TMR2_S1	4,7E-03	3,7E-04	8,2E-02	3,3E+00	3,6E-01	7,7E-02	2,0E-02
63_TMR2_S1	1,9E-04	1,2E-04	5,8E-03	8,0E-01	1,6E-01	2,3E-02	1,2E-02
86_TMR2_S1	4,7E-03	3,7E-04	8,2E-02	3,3E+00	3,6E-01	4,2E-02	2,0E-02
85_TMR2_S1	4,7E-03	3,7E-04	8,2E-02	3,3E+00	3,6E-01	4,2E-02	2,0E-02
56_TMR2_S1	5,3E-05	3,3E-05	1,6E-03	2,2E-01	7,9E-02	6,6E-03	3,8E-03
8-12_PR_TMR2_S1	6,8E-03	5,0E-01	1,5E-01	4,6E+00	1,5E+00	4,2E+00	8,0E-02
8-11_PR_TMR2_S1	6,7E-03	2,6E-01	1,2E-01	4,3E+00	1,4E+00	2,2E+00	6,2E-02
87_PR_TMR2_S1	6,8E-03	6,4E-02	1,5E-01	4,2E+00	2,2E+00	1,6E+00	4,9E-02
83_TMR2_S1	4,7E-03	3,7E-04	8,2E-02	3,3E+00	3,6E-01	7,7E-02	2,0E-02
57_DM2F_TMR2_S1	1,2E-02	1,5E-03	2,2E-01	1,0E+01	4,0E+00	1,8E-01	1,5E-01
82_TMR2_S1	4,7E-03	3,7E-04	8,2E-02	3,3E+00	3,6E-01	7,7E-02	2,0E-02
42_TMR2_S1	2,1E-02	1,9E-03	2,8E-01	4,4E+00	1,0E+00	4,0E-01	1,2E-01
57_DM2F_TMR2_S1	1,2E-02	1,5E-03	2,2E-01	1,0E+01	4,0E+00	1,8E-01	1,5E-01
62_TMR2_S1	3,5E-04	2,2E-04	1,1E-02	9,7E-01	9,9E-01	6,1E-02	1,8E+00
61_TMR2_S1	6,3E-06	3,8E-06	1,9E-04	2,7E-02	5,2E-03	7,8E-04	3,8E-04
81_TMR2_S1	4,7E-03	3,7E-04	8,2E-02	3,3E+00	3,6E-01	7,7E-02	2,0E-02

57_DM3F_TMR2_S1	6,2E-03	9,1E-04	1,2E-01	5,8E+00	3,4E+00	1,2E-01	1,1E-01
-----------------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------

Annexe 2-h : Scores d'impact total et scores d'impact de chaque pratique du TMR2_S1 éco-conçu pour les 7 dernières catégories d'impact prises en compte

CodePratique	Changement Climatique	Formation de particules	Diminution de la couche d'ozone	Formation d'oxydants photochimiques	Ecotoxicité en eaux douces	Ecotoxicité marine	Eutrophisation en eaux douces
Unité	kg CO2 eq	kg PM10 eq	kg CFC-11 eq	kg NMVOC	CTUe	kg 1,4-DB eq	kg P eq
91_TMR1_S2	2,6E+02	3,6E-01	3,1E-05	4,9E-01	6,0E+00	2,0E-01	2,4E-03
88_TMR1_S2	2,1E+01	8,7E-02	2,5E-06	3,1E-01	2,5E+03	4,6E-02	3,7E-04
5-10_TMR1_S2	8,7E+00	2,9E-02	1,1E-06	1,0E-01	2,5E-01	7,7E-03	1,2E-04
74_TMR1_S2	1,1E+01	3,7E-02	1,4E-06	1,3E-01	2,8E-01	9,1E-03	1,2E-04
87_TMR1_S2	2,0E+01	7,2E-02	2,5E-06	2,6E-01	8,4E-01	1,7E-02	1,1E-03
59_TMR1_S2	1,3E+01	4,4E-02	1,6E-06	1,6E-01	3,5E-01	1,1E-02	1,7E-04
86_TMR1_S2	2,0E+01	8,6E-02	2,7E-06	2,7E-01	7,4E+03	1,9E-01	6,9E-03
73_TMR1_S2	5,4E+01	1,8E-01	6,7E-06	6,1E-01	1,7E+00	5,1E-02	9,5E-04
85_TMR1_S2	3,1E+01	1,2E-01	9,1E-06	3,0E-01	1,4E+02	6,1E-02	2,5E-03
72_TMR1_S2	1,1E+01	3,7E-02	1,4E-06	1,3E-01	2,8E-01	9,1E-03	1,2E-04
58_TMR1_S2	1,3E+01	4,4E-02	1,6E-06	1,6E-01	3,5E-01	1,1E-02	1,7E-04
57_TMR1_S2	1,5E+01	3,7E-02	3,1E-06	1,2E-01	2,5E+00	2,4E-02	8,6E-03
84_TMR1_S2	3,1E+01	8,6E-02	1,0E-05	2,8E-01	1,0E+02	6,7E-02	2,9E-03
67_TMR1_S2	1,2E+00	1,2E-03	1,7E-07	4,0E-03	3,1E-02	9,5E-04	2,9E-05
66_TMR1_S2	5,6E-01	5,6E-04	7,9E-08	1,8E-03	1,5E-02	4,4E-04	1,3E-05
56_TMR1_S2	8,7E+00	2,9E-02	1,1E-06	1,0E-01	2,5E-01	7,7E-03	1,2E-04
83_TMR1_S2	2,9E+01	8,4E-02	9,1E-06	2,8E-01	1,0E+02	6,4E-02	2,6E-03
65_TMR1_S2	8,3E-01	8,4E-04	1,2E-07	2,8E-03	2,2E-02	6,6E-04	2,0E-05
82_TMR1_S2	2,7E+01	8,0E-02	7,3E-06	2,7E-01	7,2E+01	3,3E-02	2,0E-03
64_TMR1_S2	2,4E+00	2,4E-03	3,4E-07	7,9E-03	6,3E-02	1,9E-03	5,7E-05
55_TMR1_S2	1,3E+01	4,4E-02	1,6E-06	1,6E-01	3,5E-01	1,1E-02	1,7E-04
81_TMR1_S2	2,4E+01	1,0E-01	5,1E-06	2,8E-01	7,3E+01	2,6E-02	1,1E-03
54_TMR1_S2	1,3E+01	4,4E-02	1,6E-06	1,6E-01	3,5E-01	1,1E-02	1,7E-04
53_TMR1_S2	8,7E+00	2,9E-02	1,1E-06	1,0E-01	2,5E-01	7,7E-03	1,2E-04
52_TMR1_S2	1,3E+01	4,4E-02	1,6E-06	1,6E-01	3,5E-01	1,1E-02	1,7E-04
42_TMR1_S2	3,7E+01	2,1E+00	6,9E-07	2,1E-01	1,1E+03	2,4E-02	1,0E-02

51_TMR1_S2	1,5E+01	3,7E-02	3,1E-06	1,2E-01	2,5E+00	2,4E-02	8,6E-03
63_TMR1_S2	2,8E-01	2,8E-04	4,0E-08	9,2E-04	7,3E-03	2,2E-04	6,7E-06
71_TMR1_S2	1,1E+01	4,0E-02	1,4E-06	1,4E-01	3,4E-01	1,0E-02	1,8E-04
62_TMR1_S2	1,2E+00	1,2E-03	1,7E-07	4,0E-03	3,1E-02	9,5E-04	2,9E-05
61_TMR1_S2	2,6E+00	3,5E-03	3,4E-07	9,2E-03	2,7E-01	5,1E-03	2,9E-04

Annexe 2-i : Scores d'impact total et scores d'impact de chaque pratique du TMR1_S2 initial pour les 7 premières catégories d'impact prises en compte

CodePratique	Eutrophisation marine	Ecotoxicité terrestre	Acidification terrestre	Diminution des ressources fossiles	Diminution des ressources en métaux	Diminution des ressources en eau	Occupation de terres agricoles
Unité	kg N eq	kg 1,4-DB eq	kg SO2 eq	kg oil eq	kg Fe eq	m3	m2a
91_TMR1_S2	1,4E-02	9,5E-03	5,7E-01	8,5E+01	1,2E+01	1,1E+00	5,3E-01
88_TMR1_S2	9,0E-03	5,1E-01	2,3E-01	7,0E+00	1,3E+00	4,3E+00	1,2E-01
5-10_TMR1_S2	3,5E-03	3,6E-04	6,3E-02	2,9E+00	5,0E-01	4,2E-02	2,5E-02
74_TMR1_S2	4,5E-03	4,2E-04	8,0E-02	3,7E+00	5,8E-01	4,8E-02	2,6E-02
87_TMR1_S2	9,5E-03	8,7E-04	1,6E-01	6,8E+00	1,1E+00	2,8E-01	1,0E-01
59_TMR1_S2	5,4E-03	5,1E-04	9,6E-02	4,3E+00	6,6E-01	5,9E-02	3,3E-02
86_TMR1_S2	1,1E-02	1,5E+00	2,0E-01	6,7E+00	1,2E+01	2,8E-01	1,3E-01
73_TMR1_S2	2,1E-02	2,4E-03	3,8E-01	1,8E+01	4,2E+00	2,9E-01	2,0E-01
85_TMR1_S2	3,9E-02	6,8E-01	3,7E-01	1,0E+01	2,6E+00	7,2E-01	2,5E-01
72_TMR1_S2	4,5E-03	4,2E-04	8,0E-02	3,7E+00	5,8E-01	4,8E-02	2,6E-02
58_TMR1_S2	5,4E-03	5,1E-04	9,6E-02	4,3E+00	6,6E-01	5,9E-02	3,3E-02
57_TMR1_S2	5,6E-03	3,8E-03	8,5E-02	5,2E+00	1,1E+00	8,2E-01	2,5E-01
84_TMR1_S2	4,5E-02	7,9E-01	2,1E-01	1,0E+01	2,9E+00	7,8E-01	2,8E-01
67_TMR1_S2	9,5E-05	5,8E-05	2,9E-03	4,0E-01	7,9E-02	1,2E-02	5,8E-03
66_TMR1_S2	4,4E-05	2,7E-05	1,3E-03	1,9E-01	3,7E-02	5,4E-03	2,7E-03
56_TMR1_S2	3,5E-03	3,6E-04	6,3E-02	2,9E+00	5,0E-01	4,2E-02	2,5E-02
83_TMR1_S2	4,0E-02	6,7E-01	2,0E-01	9,9E+00	2,6E+00	7,1E-01	2,5E-01
65_TMR1_S2	6,6E-05	4,0E-05	2,0E-03	2,8E-01	5,5E-02	8,1E-03	4,0E-03
82_TMR1_S2	3,2E-02	8,0E-03	1,9E-01	9,0E+00	2,2E+00	5,8E-01	2,1E-01
64_TMR1_S2	1,9E-04	1,2E-04	5,8E-03	8,0E-01	1,6E-01	2,3E-02	1,2E-02
55_TMR1_S2	5,4E-03	5,1E-04	9,6E-02	4,3E+00	6,6E-01	5,9E-02	3,3E-02
81_TMR1_S2	2,1E-02	4,5E-03	2,9E-01	8,1E+00	1,6E+00	4,1E-01	1,5E-01
54_TMR1_S2	5,4E-03	5,1E-04	9,6E-02	4,3E+00	6,6E-01	5,9E-02	3,3E-02
53_TMR1_S2	3,5E-03	3,6E-04	6,3E-02	2,9E+00	5,0E-01	4,2E-02	2,5E-02
52_TMR1_S2	5,4E-03	5,1E-04	9,6E-02	4,3E+00	6,6E-01	5,9E-02	3,3E-02
42_TMR1_S2	2,5E+00	4,2E-01	1,6E+01	1,9E+00	5,3E-01	3,1E-02	2,2E-02

51_TMR1_S2	5,6E-03	3,8E-03	8,5E-02	5,2E+00	1,1E+00	8,2E-01	2,5E-01
63_TMR1_S2	2,2E-05	1,3E-05	6,7E-04	9,3E-02	1,8E-02	2,7E-03	1,3E-03
71_TMR1_S2	5,0E-03	4,7E-04	8,8E-02	3,7E+00	8,8E-01	5,6E-02	3,7E-02
62_TMR1_S2	9,5E-05	5,8E-05	2,9E-03	4,0E-01	7,9E-02	1,2E-02	5,8E-03
61_TMR1_S2	2,6E-04	2,0E-04	8,7E-03	8,6E-01	9,6E-01	5,0E-02	2,4E-02

Annexe 2-j : Scores d'impact total et scores d'impact de chaque pratique du TMR1_S2 initial pour les 7 dernières catégories d'impact prises en compte

CodePratique	Changement Climatique	Formation de particules	Diminution de la couche d'ozone	Formation d'oxydants photochimiques	Ecotoxicité en eaux douces	Ecotoxicité marine	Eutrophisation en eaux douces
91_TMR1_S2	1,3E+02	4,4E-01	1,7E-05	1,5E+00	3,7E+00	1,2E-01	1,9E-03
88_PR_TMR1_S2	2,2E+01	8,8E-02	2,7E-06	3,1E-01	1,6E+03	3,7E-02	3,5E-04
87_TMR1_S2	2,5E+01	9,2E-02	3,2E-06	3,3E-01	8,2E-01	2,1E-02	8,2E-04
72_TMR1_S2	5,2E+00	1,7E-02	4,6E-07	5,6E-02	1,7E-01	4,4E-03	1,1E-04
86_PR_TMR1_S2	2,2E+01	8,7E-02	2,8E-06	2,8E-01	4,9E+03	1,3E-01	4,7E-03
51_R3_TMR1_S2	1,9E+00	5,1E-03	9,5E-07	8,1E-03	4,1E-01	7,8E-03	3,4E-04
85_PR_TMR1_S2	2,8E+01	1,1E-01	6,8E-06	3,0E-01	5,6E+01	3,4E-02	1,7E-03
42_EV2B_TMR1_S2	2,0E+01	1,7E-01	2,5E-06	7,2E-01	6,2E-01	1,9E-02	3,3E-04
84_PR_TMR1_S2	2,8E+01	8,6E-02	7,0E-06	2,9E-01	5,9E+01	3,3E-02	1,8E-03
53_C_TMR1_S2	7,3E+00	2,4E-02	7,8E-07	8,1E-02	2,2E-01	6,3E-03	1,2E-04
83_PR_TMR1_S2	2,6E+01	8,3E-02	5,8E-06	2,9E-01	4,5E+01	3,0E-02	1,4E-03
67_TMR1_S2	1,2E+00	1,2E-03	1,7E-07	4,0E-03	3,1E-02	9,5E-04	2,9E-05
66_TMR1_S2	5,6E-01	5,6E-04	7,9E-08	1,8E-03	1,5E-02	4,4E-04	1,3E-05
51_R3_TMR1_S2	1,9E+00	5,1E-03	9,5E-07	8,1E-03	4,1E-01	7,8E-03	3,4E-04
82_TMR1_S2	3,0E+01	9,6E-02	7,5E-06	3,4E-01	6,1E+01	3,1E-02	1,7E-03
65_TMR1_S2	8,3E-01	8,4E-04	1,2E-07	2,8E-03	2,2E-02	6,6E-04	2,0E-05
64_TMR1_S2	2,4E+00	2,4E-03	3,4E-07	7,9E-03	6,3E-02	1,9E-03	5,7E-05
81_TMR1_S2	2,7E+01	9,6E-02	5,5E-06	3,4E-01	3,5E+01	2,5E-02	1,0E-03
53_TMR1_S2	5,3E+00	1,7E-02	5,9E-07	5,9E-02	1,8E-01	4,9E-03	1,1E-04
42_TMR1_S2	3,7E+01	2,1E+00	6,9E-07	2,1E-01	1,1E+03	2,4E-02	1,0E-02
42_EV3B_TMR1_S2	1,0E+01	3,7E-02	1,3E-06	1,3E-01	2,7E-01	8,7E-03	1,2E-04
51_R2_TMR1_S2	3,4E+00	9,9E-03	1,0E-06	1,6E-02	5,6E-01	1,1E-02	4,6E-04
71_TMR1_S2	2,1E+01	7,7E-02	2,6E-06	2,8E-01	6,4E-01	1,9E-02	3,4E-04
63_TMR1_S2	2,8E-01	2,8E-04	4,0E-08	9,2E-04	7,3E-03	2,2E-04	6,7E-06
61_TMR1_S2	2,6E+00	3,5E-03	3,4E-07	9,2E-03	2,7E-01	5,1E-03	2,9E-04
73_TMR1_S2	5,4E+01	1,8E-01	6,7E-06	6,1E-01	1,7E+00	5,1E-02	9,5E-04

Annexe 2-k : Scores d'impact total et scores d'impact de chaque pratique du TMR1_S2 éco-conçu pour les 7 premières catégories d'impact prises en compte

CodePratique	Eutrophisation marine	Ecotoxicité terrestre	Acidification terrestre	Diminution des ressources fossiles	Diminution des ressources en métaux	Diminution des ressources en eau	Occupation de terres agricoles
91_TMR3_S2	5,2E-02	5,5E-03	9,5E-01	4,5E+01	5,9E+00	6,8E-01	3,9E-01
88_PR_TMR1_S2	9,6E-03	3,2E-01	2,2E-01	7,3E+00	1,6E+00	2,8E+00	1,2E-01
87_TMR1_S2	1,2E-02	1,0E-03	2,0E-01	8,7E+00	1,1E+00	2,8E-01	1,0E-01
72_TMR1_S2	1,9E-03	2,1E-04	3,5E-02	1,3E+00	6,1E-01	2,7E-02	2,3E-02
86_PR_TMR1_S2	1,1E-02	1,0E+00	1,9E-01	7,2E+00	8,3E+00	2,7E-01	1,2E-01
51_R3_TMR1_S2	2,4E-04	2,4E-04	8,8E-03	5,2E-01	1,8E+00	1,9E+00	3,4E-02
85_PR_TMR1_S2	2,9E-02	5,3E-02	3,0E-01	9,5E+00	2,4E+00	5,5E-01	2,0E-01
42_EV2B_TMR1_S2	2,6E-02	8,7E-04	4,0E-01	6,9E+00	1,2E+00	1,0E-01	6,5E-02
84_PR_TMR1_S2	3,0E-02	1,7E-02	2,0E-01	9,3E+00	2,5E+00	5,5E-01	2,0E-01
53_C_TMR1_S2	2,8E-03	3,0E-04	5,1E-02	2,2E+00	7,3E-01	3,6E-02	2,7E-02
83_PR_TMR1_S2	2,5E-02	3,5E-02	1,9E-01	8,6E+00	2,2E+00	4,7E-01	1,7E-01
67_TMR1_S2	9,5E-05	5,8E-05	2,9E-03	4,0E-01	7,9E-02	1,2E-02	5,8E-03
66_TMR1_S2	4,4E-05	2,7E-05	1,3E-03	1,9E-01	3,7E-02	5,4E-03	2,7E-03
51_R3_TMR1_S2	2,4E-04	2,4E-04	8,8E-03	5,2E-01	1,8E+00	1,9E+00	3,4E-02
82_TMR1_S2	3,2E-02	7,2E-03	2,2E-01	1,1E+01	2,0E+00	5,0E-01	1,7E-01
65_TMR1_S2	6,6E-05	4,0E-05	2,0E-03	2,8E-01	5,5E-02	8,1E-03	4,0E-03
64_TMR1_S2	1,9E-04	1,2E-04	5,8E-03	8,0E-01	1,6E-01	2,3E-02	1,2E-02
81_TMR1_S2	2,2E-02	4,2E-03	2,2E-01	9,5E+00	1,5E+00	3,4E-01	1,2E-01
53_TMR1_S2	2,0E-03	2,3E-04	3,7E-02	1,6E+00	4,7E-01	2,8E-02	2,2E-02
42_TMR1_S2	2,5E+00	4,2E-01	1,6E+01	1,9E+00	5,3E-01	3,1E-02	2,2E-02
42_EV3B_TMR1_S2	4,6E-03	4,0E-04	8,1E-02	3,4E+00	6,1E-01	4,6E-02	2,6E-02
51_R2_TMR1_S2	4,0E-04	3,9E-04	1,4E-02	1,0E+00	3,4E+00	1,9E+00	6,7E-02
71_TMR1_S2	9,5E-03	9,0E-04	1,7E-01	7,1E+00	1,7E+00	1,1E-01	7,1E-02
63_TMR1_S2	2,2E-05	1,3E-05	6,7E-04	9,3E-02	1,8E-02	2,7E-03	1,3E-03
61_TMR1_S2	2,6E-04	2,0E-04	8,7E-03	8,6E-01	9,6E-01	5,0E-02	2,4E-02
73_TMR1_S2	2,1E-02	2,4E-03	3,8E-01	1,8E+01	4,2E+00	2,9E-01	2,0E-01

Annexe 2-I : Scores d'impact total et scores d'impact de chaque pratique du TMR1_S2 éco-conçu pour les 7 dernières catégories d'impact prises en compte

CodePratique	Changement Climatique	Formation de particules	Diminution de la couche d'ozone	Formation d'oxydants photochimiques	Ecotoxicité en eaux douces	Ecotoxicité marine	Eutrophisation en eaux douces
61_TMR2_S2	2,4E-01	2,4E-04	3,4E-08	7,9E-04	6,3E-03	1,9E-04	5,7E-06
31_TMR2_S2	1,5E+01	4,7E-02	1,8E-06	1,4E-01	2,3E+01	1,9E-02	6,6E-04
62_TMR2_S2	2,6E+00	2,8E-03	3,6E-07	8,7E-03	1,3E-01	2,4E-03	9,4E-05
71_TMR2_S2	1,5E+01	5,4E-02	1,8E-06	1,9E-01	4,7E-01	1,4E-02	2,6E-04
42_TMR2_S2	4,8E+01	2,3E+00	8,9E-07	3,0E-01	2,2E+03	4,1E-02	2,3E-02
51_TMR2_S2	1,3E+01	4,4E-02	1,6E-06	1,5E-01	4,9E-01	1,3E-02	2,9E-04
32_TMR2_S2	7,0E+00	2,5E-02	8,8E-07	9,2E-02	2,2E-01	6,4E-03	1,1E-04
52_TMR2_S2	2,5E+01	6,6E-02	1,1E-05	2,0E-01	1,1E+01	4,3E-02	1,2E-02
53_TMR2_S2	8,0E+00	2,6E-02	9,9E-07	9,0E-02	2,6E-01	7,6E-03	1,5E-04
81_TMR2_S2	3,1E+01	9,5E-02	8,0E-06	3,3E-01	6,8E+01	3,7E-02	2,1E-03
54_TMR2_S2	1,3E+01	4,4E-02	1,6E-06	1,5E-01	4,9E-01	1,3E-02	2,9E-04
63_TMR2_S2	3,5E-01	3,5E-04	5,0E-08	1,2E-03	9,2E-03	2,8E-04	8,4E-06
55_TMR2_S2	8,0E+00	2,6E-02	9,9E-07	9,0E-02	2,6E-01	7,6E-03	1,5E-04
82_TMR2_S2	2,5E+01	9,7E-02	7,9E-06	2,3E-01	1,3E+02	5,6E-02	2,3E-03
56_TMR2_S2	1,5E+01	5,1E-02	1,9E-06	1,8E-01	5,0E-01	1,4E-02	2,7E-04
64_TMR2_S2	1,2E-01	1,2E-04	1,7E-08	3,9E-04	3,1E-03	9,3E-05	2,8E-06
83_TMR2_S2	2,4E+01	1,1E-01	4,5E-06	2,4E-01	4,0E+01	2,3E-01	1,6E-03
57_TMR2_S2	2,3E+01	6,1E-02	4,7E-06	1,9E-01	3,5E+00	3,6E-02	1,2E-02
84_TMR2_S2	2,3E+01	6,6E-02	7,3E-06	2,1E-01	7,8E+01	3,7E-02	2,1E-03
58_TMR2_S2	8,0E+00	2,6E-02	9,9E-07	9,0E-02	2,6E-01	7,6E-03	1,5E-04
85_TMR2_S2	2,4E+01	7,2E-02	7,9E-06	2,2E-01	3,5E+03	1,3E-01	5,3E-03
65_TMR2_S2	7,6E-01	7,6E-04	1,1E-07	2,5E-03	2,0E-02	6,0E-04	1,8E-05
72_TMR2_S2	8,7E+00	2,9E-02	1,1E-06	1,0E-01	2,3E-01	7,3E-03	1,0E-04
86_TMR2_S2	3,1E+01	8,2E-02	1,2E-05	2,4E-01	3,5E+03	1,6E-01	6,8E-03
73_TMR2_S2	2,6E+01	8,5E-02	3,2E-06	2,9E-01	8,8E-01	2,5E-02	4,9E-04
74_TMR2_S2	7,0E+00	2,4E-02	8,6E-07	8,1E-02	1,8E-01	5,9E-03	8,4E-05
59_TMR2_S2	8,0E+00	2,6E-02	9,9E-07	9,0E-02	2,6E-01	7,6E-03	1,5E-04

87_TMR2_S2	3,2E+01	1,2E-01	7,4E-06	3,4E-01	9,0E+01	4,4E-02	2,6E-03
66_TMR2_S2	4,7E-01	4,7E-04	6,6E-08	1,5E-03	1,2E-02	3,7E-04	1,1E-05
88_TMR2_S2	3,0E+01	9,9E-02	1,1E-05	2,4E-01	1,9E+02	7,9E-02	3,3E-03
75_TMR2_S2	7,0E+00	2,4E-02	8,6E-07	8,1E-02	1,8E-01	5,9E-03	8,4E-05
89_TMR2_S2	1,6E+01	8,1E-02	1,9E-06	2,1E-01	6,7E+03	1,8E-01	6,2E-03
5-10_TMR2_S2	1,3E+01	4,4E-02	1,6E-06	1,5E-01	4,9E-01	1,3E-02	2,9E-04
5-11_TMR2_S2	8,0E+00	2,6E-02	9,9E-07	9,0E-02	2,6E-01	7,6E-03	1,5E-04
8-10_TMR2_S2	1,6E+01	6,6E-02	2,1E-06	2,0E-01	1,4E+01	3,4E-02	1,3E-03
91_TMR2_S2	1,6E+02	2,2E-01	2,0E-05	3,3E-01	5,2E+00	1,5E-01	2,8E-03

Annexe 2-m : Scores d'impact total et scores d'impact de chaque pratique du TMR2_S2 initial pour les 7 premières catégories d'impact prises en compte

CodePratique	Eutrophisation marine	Ecotoxicité terrestre	Acidification terrestre	Diminution des ressources fossiles	Diminution des ressources en métaux	Diminution des ressources en eau	Occupation de terres agricoles
61_TMR2_S2	1,9E-05	1,2E-05	5,8E-04	8,0E-02	1,6E-02	2,3E-03	1,2E-03
31_TMR2_S2	2,1E-02	7,8E-03	1,2E-01	5,0E+00	2,3E+00	1,2E-01	2,3E-01
62_TMR2_S2	2,3E-04	1,4E-04	7,0E-03	8,6E-01	2,2E-01	4,0E-02	1,7E-02
71_TMR2_S2	6,6E-03	6,5E-04	1,2E-01	5,0E+00	1,3E+00	7,8E-02	5,4E-02
42_TMR2_S2	1,7E+00	8,1E-01	1,7E+01	2,4E+00	1,9E-01	2,7E-02	1,0E-02
51_TMR2_S2	5,2E-03	6,4E-04	9,5E-02	4,5E+00	1,3E+00	7,8E-02	5,9E-02
32_TMR2_S2	3,1E-03	3,0E-04	5,6E-02	2,4E+00	3,6E-01	3,6E-02	2,2E-02
52_TMR2_S2	1,2E-02	6,3E-03	1,6E-01	8,7E+00	2,1E+00	1,1E+00	3,3E-01
53_TMR2_S2	3,1E-03	3,6E-04	5,6E-02	2,7E+00	5,9E-01	4,3E-02	2,9E-02
81_TMR2_S2	3,5E-02	8,4E-03	2,2E-01	1,0E+01	2,5E+00	6,2E-01	2,2E-01
54_TMR2_S2	5,2E-03	6,4E-04	9,5E-02	4,5E+00	1,3E+00	7,8E-02	5,9E-02
63_TMR2_S2	2,8E-05	1,7E-05	8,5E-04	1,2E-01	2,3E-02	3,4E-03	1,7E-03
55_TMR2_S2	3,1E-03	3,6E-04	5,6E-02	2,7E+00	5,9E-01	4,3E-02	2,9E-02
82_TMR2_S2	3,4E-02	6,4E-01	3,1E-01	8,5E+00	3,8E+00	6,5E-01	2,3E-01
56_TMR2_S2	6,1E-03	6,7E-04	1,1E-01	5,2E+00	9,5E-01	8,0E-02	5,4E-02
64_TMR2_S2	9,3E-06	5,6E-06	2,8E-04	3,9E-02	7,7E-03	1,1E-03	5,7E-04
83_TMR2_S2	2,1E-02	4,7E-03	3,6E-01	8,2E+00	3,1E+01	7,8E-01	3,0E-01
57_TMR2_S2	8,9E-03	5,3E-03	1,4E-01	8,1E+00	1,9E+00	1,0E+00	3,0E-01
84_TMR2_S2	3,2E-02	9,5E-03	1,6E-01	7,8E+00	5,3E+00	5,9E-01	2,2E-01
58_TMR2_S2	3,1E-03	3,6E-04	5,6E-02	2,7E+00	5,9E-01	4,3E-02	2,9E-02
85_TMR2_S2	3,5E-02	1,2E+00	1,8E-01	8,1E+00	7,0E+00	6,4E-01	2,4E-01
65_TMR2_S2	6,0E-05	3,7E-05	1,8E-03	2,5E-01	5,0E-02	7,4E-03	3,7E-03
72_TMR2_S2	3,5E-03	3,4E-04	6,3E-02	2,9E+00	5,0E-01	3,9E-02	2,2E-02
86_TMR2_S2	5,5E-02	1,5E+00	2,1E-01	1,0E+01	8,0E+00	9,4E-01	3,5E-01
73_TMR2_S2	9,9E-03	1,2E-03	1,8E-01	8,8E+00	2,2E+00	1,4E-01	1,0E-01
74_TMR2_S2	2,8E-03	2,7E-04	5,1E-02	2,3E+00	4,0E-01	3,1E-02	1,8E-02
59_TMR2_S2	3,1E-03	3,6E-04	5,6E-02	2,7E+00	5,9E-01	4,3E-02	2,9E-02

87_TMR2_S2	3,1E-02	7,8E-03	3,5E-01	1,1E+01	2,3E+00	6,4E-01	2,2E-01
66_TMR2_S2	3,7E-05	2,3E-05	1,1E-03	1,6E-01	3,1E-02	4,6E-03	2,3E-03
88_TMR2_S2	4,8E-02	8,6E-01	3,1E-01	1,0E+01	2,9E+00	8,5E-01	3,0E-01
75_TMR2_S2	2,8E-03	2,7E-04	5,1E-02	2,3E+00	4,0E-01	3,1E-02	1,8E-02
89_TMR2_S2	7,5E-03	1,4E+00	2,2E-01	5,2E+00	1,0E+01	2,3E-01	1,1E-01
5-10_TMR2_S2	5,2E-03	6,4E-04	9,5E-02	4,5E+00	1,3E+00	7,8E-02	5,9E-02
5-11_TMR2_S2	3,1E-03	3,6E-04	5,6E-02	2,7E+00	5,9E-01	4,3E-02	2,9E-02
8-10_TMR2_S2	8,6E-03	2,7E-03	1,7E-01	5,4E+00	3,4E+00	2,7E-01	1,1E-01
91_TMR2_S2	8,2E-03	7,1E-03	3,6E-01	5,5E+01	8,9E+00	8,4E-01	5,5E-01

Annexe 2-n : Scores d'impact total et scores d'impact de chaque pratique du TMR2_S2 initial pour les 7 dernières catégories d'impact prises en compte

CodePratique	Changement Climatique	Formation de particules	Diminution de la couche d'ozone	Formation d'oxydants photochimiques	Ecotoxicité en eaux douces	Ecotoxicité marine	Eutrophisation en eaux douces
91_TMR2_S2	9,1E+01	1,3E-01	9,7E-06	2,2E-01	3,8E+00	9,3E-02	2,5E-03
89_PR_TMR2_S2	2,0E+01	8,7E-02	2,4E-06	2,6E-01	4,2E+03	1,2E-01	4,0E-03
5-11_TMR2_S2	8,0E+00	2,6E-02	9,9E-07	9,0E-02	2,6E-01	7,6E-03	1,5E-04
5-10_TMR2_S2	1,3E+01	4,4E-02	1,6E-06	1,5E-01	4,9E-01	1,3E-02	2,9E-04
86_alt_PR_TMR3_S2	4,7E+01	1,4E-01	1,7E-05	3,5E-01	2,4E+02	7,3E-02	1,3E-02
75_TMR2_S2	7,0E+00	2,4E-02	8,6E-07	8,1E-02	1,8E-01	5,9E-03	8,4E-05
86_PR_TMR2_S2	3,8E+01	8,9E-02	1,7E-05	2,6E-01	2,2E+03	1,2E-01	7,2E-03
66_TMR2_S2	4,7E-01	4,7E-04	6,6E-08	1,5E-03	1,2E-02	3,7E-04	1,1E-05
85_alt3_PR_TMR2_S2	2,3E+01	7,8E-02	4,9E-06	2,6E-01	2,0E+03	7,0E-02	2,9E-03
59_TMR2_S2	8,0E+00	2,6E-02	9,9E-07	9,0E-02	2,6E-01	7,6E-03	1,5E-04
74_TMR2_S2	7,0E+00	2,4E-02	8,6E-07	8,1E-02	1,8E-01	5,9E-03	8,4E-05
73_TMR2_S2	2,6E+01	8,5E-02	3,2E-06	2,9E-01	8,8E-01	2,5E-02	4,9E-04
84_TMR2_S2	2,3E+01	6,6E-02	7,3E-06	2,1E-01	7,8E+01	3,7E-02	2,1E-03
72_TMR2_S2	8,7E+00	2,9E-02	1,1E-06	1,0E-01	2,3E-01	7,3E-03	1,0E-04
65_TMR2_S2	7,6E-01	7,6E-04	1,1E-07	2,5E-03	2,0E-02	6,0E-04	1,8E-05
58_TMR2_S2	8,0E+00	2,6E-02	9,9E-07	9,0E-02	2,6E-01	7,6E-03	1,5E-04
83_PR_TMR3_S2	9,4E+00	1,6E-02	2,9E-06	3,1E-02	3,7E+01	1,8E-02	6,1E-03
57_TMR2_S2	2,0E+01	5,5E-02	3,6E-06	1,8E-01	2,3E+00	2,8E-02	7,4E-03
83_PR_TMR2_S2	1,9E+01	7,1E-02	2,6E-06	2,5E-01	4,7E+00	1,9E-02	3,5E-04
64_TMR2_S2	1,2E-01	1,2E-04	1,7E-08	3,9E-04	3,1E-03	9,3E-05	2,8E-06
56_TMR2_S2	1,5E+01	5,1E-02	1,9E-06	1,8E-01	5,0E-01	1,4E-02	2,7E-04
82_TMR3_S2	3,1E+01	1,0E-01	5,9E-06	3,5E-01	3,3E+01	3,3E-02	5,3E-03
55_TMR2_S2	8,0E+00	2,6E-02	9,9E-07	9,0E-02	2,6E-01	7,6E-03	1,5E-04
63_TMR2_S2	3,5E-01	3,5E-04	5,0E-08	1,2E-03	9,2E-03	2,8E-04	8,4E-06
54_TMR2_S2	1,3E+01	4,4E-02	1,6E-06	1,5E-01	4,9E-01	1,3E-02	2,9E-04
82_TMR3_S2	3,0E+01	1,0E-01	5,3E-06	3,5E-01	2,7E+01	3,0E-02	4,3E-03
53_TMR2_S2	8,0E+00	2,6E-02	9,9E-07	9,0E-02	2,6E-01	7,6E-03	1,5E-04

52_TMR2_S2	1,9E+01	5,6E-02	6,1E-06	1,8E-01	5,9E+00	2,8E-02	6,0E-03
32_TMR2_S2	7,0E+00	2,5E-02	8,8E-07	9,2E-02	2,2E-01	6,4E-03	1,1E-04
56_TMR2_S2	1,5E+01	5,1E-02	1,9E-06	1,8E-01	5,0E-01	1,4E-02	2,7E-04
41_FumA/3_TMR2_S2	1,2E+02	1,8E+00	6,3E-06	5,8E-01	7,4E+02	7,7E-02	1,1E-02
71_TMR2_S2	1,5E+01	5,4E-02	1,8E-06	1,9E-01	4,7E-01	1,4E-02	2,6E-04
62_TMR2_S2	2,6E+00	2,8E-03	3,6E-07	8,7E-03	1,3E-01	2,4E-03	9,4E-05
31_TMR2_S2	1,5E+01	4,7E-02	1,8E-06	1,4E-01	2,3E+01	1,9E-02	6,6E-04
61_TMR2_S2	2,4E-01	2,4E-04	3,4E-08	7,9E-04	6,3E-03	1,9E-04	5,7E-06
51_EV2B_TMR2_S2	2,0E+01	1,7E-01	2,5E-06	7,2E-01	6,3E-01	1,9E-02	3,3E-04
51_EV3B_TMR2_S2	3,1E+01	1,1E-01	3,8E-06	4,0E-01	8,4E-01	2,7E-02	4,0E-04

Annexe 2-o : Scores d'impact total et scores d'impact de chaque pratique du TMR2_S2 éco-conçu pour les 7 premières catégories d'impact prises en compte

CodePratique	Eutrophisation marine	Ecotoxicité terrestre	Acidification terrestre	Diminution des ressources fossiles	Diminution des ressources en métaux	Diminution des ressources en eau	Occupation de terres agricoles
91_TMR2_S2	5,0E-03	4,4E-03	2,2E-01	2,7E+01	8,6E+00	5,7E-01	5,0E-01
89_PR_TMR2_S2	9,1E-03	8,6E-01	2,1E-01	6,6E+00	7,3E+00	2,4E-01	1,1E-01
5-11_TMR2_S2	3,1E-03	3,6E-04	5,6E-02	2,7E+00	5,9E-01	4,3E-02	2,9E-02
5-10_TMR2_S2	5,2E-03	6,4E-04	9,5E-02	4,5E+00	1,3E+00	7,8E-02	5,9E-02
86_alt_PR_TMR3_S2	8,0E-02	2,5E-02	3,9E-01	1,6E+01	4,9E+00	1,5E+00	5,4E-01
75_TMR2_S2	2,8E-03	2,7E-04	5,1E-02	2,3E+00	4,0E-01	3,1E-02	1,8E-02
86_PR_TMR2_S2	7,6E-02	6,4E-01	2,3E-01	1,3E+01	7,6E+00	1,3E+00	4,6E-01
66_TMR2_S2	3,7E-05	2,3E-05	1,1E-03	1,6E-01	3,1E-02	4,6E-03	2,3E-03
85_alt3_PR_TMR2_S2	2,1E-02	4,0E-01	1,8E-01	7,7E+00	4,7E+00	4,0E-01	1,6E-01
59_TMR2_S2	3,1E-03	3,6E-04	5,6E-02	2,7E+00	5,9E-01	4,3E-02	2,9E-02
74_TMR2_S2	2,8E-03	2,7E-04	5,1E-02	2,3E+00	4,0E-01	3,1E-02	1,8E-02
73_TMR2_S2	9,9E-03	1,2E-03	1,8E-01	8,8E+00	2,2E+00	1,4E-01	1,0E-01
84_TMR2_S2	3,2E-02	9,5E-03	1,6E-01	7,8E+00	5,3E+00	5,9E-01	2,2E-01
72_TMR2_S2	3,5E-03	3,4E-04	6,3E-02	2,9E+00	5,0E-01	3,9E-02	2,2E-02
65_TMR2_S2	6,0E-05	3,7E-05	1,8E-03	2,5E-01	5,0E-02	7,4E-03	3,7E-03
58_TMR2_S2	3,1E-03	3,6E-04	5,6E-02	2,7E+00	5,9E-01	4,3E-02	2,9E-02
83_PR_TMR3_S2	1,8E-02	2,6E-02	4,2E-02	2,0E+00	2,2E+00	5,0E-01	2,1E-01
57_TMR2_S2	7,6E-03	3,5E-03	1,2E-01	6,7E+00	1,6E+00	6,9E-01	2,1E-01
83_PR_TMR2_S2	9,8E-03	1,2E-03	1,5E-01	6,5E+00	2,9E+00	2,3E-01	1,0E-01
64_TMR2_S2	9,3E-06	5,6E-06	2,8E-04	3,9E-02	7,7E-03	1,1E-03	5,7E-04
56_TMR2_S2	6,1E-03	6,7E-04	1,1E-01	5,2E+00	9,5E-01	8,0E-02	5,4E-02
82_TMR3_S2	2,7E-02	1,2E-02	2,4E-01	1,0E+01	1,6E+00	5,4E-01	2,0E-01
55_TMR2_S2	3,1E-03	3,6E-04	5,6E-02	2,7E+00	5,9E-01	4,3E-02	2,9E-02
63_TMR2_S2	2,8E-05	1,7E-05	8,5E-04	1,2E-01	2,3E-02	3,4E-03	1,7E-03
54_TMR2_S2	5,2E-03	6,4E-04	9,5E-02	4,5E+00	1,3E+00	7,8E-02	5,9E-02
82_TMR3_S2	2,4E-02	1,2E-02	2,4E-01	9,9E+00	1,5E+00	4,7E-01	1,8E-01
53_TMR2_S2	3,1E-03	3,6E-04	5,6E-02	2,7E+00	5,9E-01	4,3E-02	2,9E-02

52_TMR2_S2	8,7E-03	3,5E-03	1,3E-01	6,6E+00	1,6E+00	6,4E-01	2,0E-01
32_TMR2_S2	3,1E-03	3,0E-04	5,6E-02	2,4E+00	3,6E-01	3,6E-02	2,2E-02
56_TMR2_S2	6,1E-03	6,7E-04	1,1E-01	5,2E+00	9,5E-01	8,0E-02	5,4E-02
41_FumA/3_TMR2_S2	1,4E+00	3,5E-01	1,3E+01	1,6E+01	7,3E+00	3,4E-01	2,6E-01
71_TMR2_S2	6,6E-03	6,5E-04	1,2E-01	5,0E+00	1,3E+00	7,8E-02	5,4E-02
62_TMR2_S2	2,3E-04	1,4E-04	7,0E-03	8,6E-01	2,2E-01	4,0E-02	1,7E-02
31_TMR2_S2	2,1E-02	7,8E-03	1,2E-01	5,0E+00	2,3E+00	1,2E-01	2,3E-01
61_TMR2_S2	1,9E-05	1,2E-05	5,8E-04	8,0E-02	1,6E-02	2,3E-03	1,2E-03
51_EV2B_TMR2_S2	2,6E-02	8,7E-04	4,0E-01	6,9E+00	1,2E+00	1,0E-01	6,6E-02
51_EV3B_TMR2_S2	1,4E-02	1,2E-03	2,4E-01	1,0E+01	2,0E+00	1,4E-01	8,5E-02

Annexe 2-p : Scores d'impact total et scores d'impact de chaque pratique du TMR2_S2 éco-conçu pour les 7 dernières catégories d'impact prises en compte

CodePratique	Changement Climatique	Formation de particules	Diminution de la couche d'ozone	Formation d'oxydants photochimiques	Ecotoxicité en eaux douces	Ecotoxicité marine	Eutrophisation en eaux douces
31_TMR3_S2	2,6E+01	8,7E-02	3,1E-06	2,6E-01	1,1E-02	3,1E-02	1,0E-03
34_TMR3_S2	2,5E+01	4,6E-02	3,1E-06	1,0E-01	6,8E-01	2,1E-02	3,2E-04
71_TMR3_S2	7,2E+01	2,5E-01	8,9E-06	8,5E-01	1,5E+00	5,4E-02	5,3E-04
72_TMR3_S2	9,7E+00	3,5E-02	1,2E-06	1,2E-01	2,9E-01	8,7E-03	1,5E-04
61_TMR3_S2	1,6E+00	1,6E-03	2,3E-07	5,3E-03	4,8E-02	1,3E-03	4,4E-05
62_TMR3_S2	7,9E-01	8,0E-04	1,1E-07	2,6E-03	2,1E-02	6,3E-04	1,9E-05
73_TMR3_S2	1,5E+01	5,3E-02	1,8E-06	1,9E-01	4,5E-01	1,3E-02	2,3E-04
63_TMR3_S2	3,2E-01	3,2E-04	4,5E-08	1,1E-03	8,3E-03	2,5E-04	7,6E-06
64_TMR3_S2	2,4E-01	2,4E-04	3,4E-08	7,9E-04	6,3E-03	1,9E-04	5,7E-06
51_TMR3_S2	2,4E+01	5,8E-02	5,1E-06	1,8E-01	4,0E+00	4,0E-02	1,5E-02
52_TMR3_S2	1,3E+01	4,2E-02	1,5E-06	1,4E-01	4,6E-01	1,3E-02	2,6E-04
81_TMR3_S2	2,5E+01	9,1E-02	3,1E-06	3,3E-01	2,0E+00	2,0E-02	2,5E-04
82_TMR3_S2	2,7E+01	9,7E-02	4,0E-06	3,4E-01	1,2E+01	2,4E-02	2,0E-03
65_TMR3_S2	2,4E-01	2,4E-04	3,4E-08	7,9E-04	6,3E-03	1,9E-04	5,7E-06
74_TMR3_S2	1,5E+01	5,0E-02	1,8E-06	1,7E-01	3,7E-01	1,2E-02	1,6E-04
83_TMR3_S2	1,2E+01	4,6E-02	1,5E-06	1,7E-01	4,2E+01	1,6E-02	1,4E-04
66_TMR3_S2	2,4E-01	2,4E-04	3,4E-08	7,9E-04	6,3E-03	1,9E-04	5,7E-06
67_TMR3_S2	4,8E-01	4,8E-04	6,8E-08	1,6E-03	1,3E-02	3,8E-04	1,1E-05
84_TMR3_S2	2,9E+01	6,7E-02	1,2E-05	2,1E-01	4,9E+02	4,8E-02	3,8E-03
54_TMR3_S2	2,4E+01	5,8E-02	5,1E-06	1,8E-01	4,2E+00	4,0E-02	1,5E-02
85_TMR3_S2	2,7E+01	6,6E-02	1,1E-05	2,0E-01	1,4E+02	5,7E-02	3,5E-03
68_TMR3_S2	4,8E-01	4,8E-04	6,8E-08	1,6E-03	1,3E-02	3,8E-04	1,1E-05
75_TMR3_S2	1,8E+01	6,0E-02	2,2E-06	2,0E-01	5,8E-01	1,7E-02	3,2E-04
69_TMR3_S2	2,4E+00	2,4E-03	3,4E-07	7,9E-03	6,3E-02	1,9E-03	5,7E-05
76_TMR3_S2	1,5E+01	5,0E-02	1,8E-06	1,7E-01	3,7E-01	1,2E-02	1,6E-04
55_TMR3_S2	1,3E+01	4,2E-02	1,5E-06	1,4E-01	4,6E-01	1,3E-02	2,6E-04
86_TMR3_S2	3,9E+01	1,2E-01	1,8E-05	2,5E-01	1,1E+04	2,0E+00	5,9E-03

87_TMR3_S2	6,0E+00	2,2E-02	7,5E-07	8,1E-02	8,4E+01	4,8E-03	6,4E-05
77_TMR3_S2	1,5E+01	5,0E-02	1,8E-06	1,7E-01	3,7E-01	1,2E-02	1,6E-04
88_TMR3_S2	1,7E+01	9,1E-02	2,0E-06	3,0E-01	5,9E+03	8,3E-02	4,9E-04
78_TMR3_S2	1,5E+01	5,0E-02	1,8E-06	1,7E-01	3,7E-01	1,2E-02	1,6E-04
79_TMR3_S2	1,5E+01	3,7E-02	1,8E-06	1,1E-01	3,7E-01	1,2E-02	1,6E-04
56_TMR3_S2	1,3E+01	4,2E-02	1,5E-06	1,4E-01	4,6E-01	1,3E-02	2,6E-04
91_TMR3_S2	1,1E+01	2,7E-02	1,5E-06	9,1E-02	3,3E-01	9,7E-03	2,2E-04

Annexe 2-q : Scores d'impact total et scores d'impact de chaque pratique du TMR3_S2 initial pour les 7 premières catégories d'impact prises en compte

CodePratique	Eutrophisation marine	Ecotoxicité terrestre	Acidification terrestre	Diminution des ressources fossiles	Diminution des ressources en métaux	Diminution des ressources en eau	Occupation de terres agricoles
31_TMR3_S2	4,6E-02	1,7E-02	2,4E-01	8,7E+00	3,3E+00	1,9E-01	4,3E-01
34_TMR3_S2	3,3E-03	1,0E-03	8,5E-02	8,5E+00	1,1E+00	1,1E-01	6,3E-02
71_TMR3_S2	3,0E-02	2,5E-03	5,3E-01	2,4E+01	2,1E+00	2,7E-01	1,1E-01
72_TMR3_S2	4,3E-03	4,1E-04	7,6E-02	3,3E+00	4,7E-01	4,8E-02	2,9E-02
61_TMR3_S2	1,3E-04	7,9E-05	3,9E-03	5,3E-01	1,2E-01	1,7E-02	8,1E-03
62_TMR3_S2	6,3E-05	3,8E-05	1,9E-03	2,7E-01	5,2E-02	7,8E-03	3,8E-03
73_TMR3_S2	6,6E-03	6,2E-04	1,2E-01	4,9E+00	1,2E+00	7,4E-02	4,9E-02
63_TMR3_S2	2,5E-05	1,5E-05	7,7E-04	1,1E-01	2,1E-02	3,1E-03	1,5E-03
64_TMR3_S2	1,9E-05	1,2E-05	5,8E-04	8,0E-02	1,6E-02	2,3E-03	1,2E-03
51_TMR3_S2	9,0E-03	6,5E-03	1,3E-01	8,4E+00	1,8E+00	1,2E+00	3,6E-01
52_TMR3_S2	4,7E-03	6,0E-04	8,7E-02	4,3E+00	1,7E+00	7,4E-02	5,9E-02
81_TMR3_S2	1,2E-02	1,1E-02	2,0E-01	8,2E+00	8,6E-01	2,2E-01	8,6E-02
82_TMR3_S2	1,7E-02	9,6E-03	2,2E-01	8,9E+00	1,1E+00	3,3E-01	1,3E-01
65_TMR3_S2	1,9E-05	1,2E-05	5,8E-04	8,0E-02	1,6E-02	2,3E-03	1,2E-03
74_TMR3_S2	5,9E-03	5,6E-04	1,1E-01	4,9E+00	7,7E-01	6,4E-02	3,4E-02
83_TMR3_S2	5,8E-03	1,1E-02	1,0E-01	4,1E+00	4,8E-01	1,7E-01	6,4E-02
66_TMR3_S2	1,9E-05	1,2E-05	5,8E-04	8,0E-02	1,6E-02	2,3E-03	1,2E-03
67_TMR3_S2	3,8E-05	2,3E-05	1,2E-03	1,6E-01	3,1E-02	4,7E-03	2,3E-03
84_TMR3_S2	5,5E-02	1,6E-02	1,7E-01	9,7E+00	3,0E+00	9,4E-01	3,3E-01
54_TMR3_S2	9,0E-03	6,5E-03	1,3E-01	8,4E+00	1,8E+00	1,2E+00	3,6E-01
85_TMR3_S2	5,1E-02	4,3E-01	1,7E-01	9,3E+00	2,8E+00	8,7E-01	3,1E-01
68_TMR3_S2	3,8E-05	2,3E-05	1,2E-03	1,6E-01	3,1E-02	4,7E-03	2,3E-03
75_TMR3_S2	7,0E-03	8,0E-04	1,3E-01	6,1E+00	1,4E+00	9,5E-02	6,6E-02
69_TMR3_S2	1,9E-04	1,2E-04	5,8E-03	8,0E-01	1,6E-01	2,3E-02	1,2E-02
76_TMR3_S2	5,9E-03	5,6E-04	1,1E-01	4,9E+00	7,7E-01	6,4E-02	3,4E-02
55_TMR3_S2	4,7E-03	6,0E-04	8,7E-02	4,3E+00	1,7E+00	7,4E-02	5,9E-02
86_TMR3_S2	8,2E-02	9,5E-02	3,9E-01	1,3E+01	4,4E+00	1,4E+00	4,8E-01

87_TMR3_S2	2,8E-03	2,2E-04	5,0E-02	2,0E+00	2,0E-01	4,3E-02	5,0E-02
77_TMR3_S2	5,9E-03	5,6E-04	1,1E-01	4,9E+00	7,7E-01	6,4E-02	3,4E-02
88_TMR3_S2	6,3E-03	1,2E+00	3,1E-01	5,7E+00	1,2E+00	9,9E+00	1,6E-01
78_TMR3_S2	5,9E-03	5,6E-04	1,1E-01	4,9E+00	7,7E-01	6,4E-02	3,4E-02
79_TMR3_S2	3,6E-03	5,6E-04	7,4E-02	4,9E+00	7,7E-01	6,4E-02	3,4E-02
56_TMR3_S2	4,7E-03	6,0E-04	8,7E-02	4,3E+00	1,7E+00	7,4E-02	5,9E-02
91_TMR3_S2	3,0E-03	5,1E-04	5,9E-02	3,8E+00	6,6E-01	8,0E-02	4,5E-02

Annexe 2-r : Scores d'impact total et scores d'impact de chaque pratique du TMR3_S2 initial pour les 7 dernières catégories d'impact prises en compte

CodePratique	Changement Climatique	Formation de particules	Diminution de la couche d'ozone	Formation d'oxydants photochimiques	Ecotoxicité en eaux douces	Ecotoxicité marine	Eutrophisation en eaux douces
91_TMR3_S2	1,1E+01	2,7E-02	1,5E-06	9,1E-02	3,3E-01	9,7E-03	2,2E-04
53_C_TMR3_S2	1,9E+01	6,4E-02	2,3E-06	2,2E-01	4,9E-01	1,6E-02	2,2E-04
77_TMR3_S2	1,5E+01	5,0E-02	1,8E-06	1,7E-01	3,7E-01	1,2E-02	1,6E-04
53_C_TMR3_S2	3,7E+01	1,2E-01	4,5E-06	4,2E-01	9,5E-01	3,1E-02	4,3E-04
88_TMR3_S2	1,7E+01	9,1E-02	2,0E-06	3,0E-01	5,9E+03	8,3E-02	4,9E-04
87_TMR3_S2	6,0E+00	2,2E-02	7,5E-07	8,1E-02	8,4E+01	4,8E-03	6,4E-05
78_TMR3_S2	1,5E+01	5,0E-02	1,8E-06	1,7E-01	3,7E-01	1,2E-02	1,6E-04
86_alt_TMR3_S2	5,6E+01	1,4E-01	2,4E-05	3,0E-01	4,6E+02	1,0E-01	2,2E-02
67_TMR3_S2	4,8E-01	4,8E-04	6,8E-08	1,6E-03	1,3E-02	3,8E-04	1,1E-05
54_TMR3_S2	1,8E+01	4,8E-02	3,2E-06	1,6E-01	-3,1E+00	-4,8E-02	3,9E-03
85_alt_TMR3_S2	2,8E+01	6,7E-02	1,2E-05	2,1E-01	1,6E+02	4,5E-02	3,7E-03
66_TMR3_S2	2,4E-01	2,4E-04	3,4E-08	7,9E-04	6,3E-03	1,9E-04	5,7E-06
74_TMR3_S2	1,5E+01	5,0E-02	1,8E-06	1,7E-01	3,7E-01	1,2E-02	1,6E-04
65_TMR3_S2	2,4E-01	2,4E-04	3,4E-08	7,9E-04	6,3E-03	1,9E-04	5,7E-06
84_cmr_TMR3_S2	2,6E+01	6,4E-02	1,0E-05	2,0E-01	1,0E+04	4,0E-02	3,2E-03
83_alt_TMR3_S2	4,4E+01	9,0E-02	1,9E-05	2,5E-01	2,6E+02	8,4E-02	1,6E-02
82_TMR3_S2	2,7E+01	9,7E-02	4,0E-06	3,4E-01	1,2E+01	2,4E-02	2,0E-03
81_TMR3_S2	1,2E+01	4,3E-02	1,2E-06	1,5E-01	1,4E+00	3,4E-03	-1,4E-04
42_EV3B_TMR3_S2	3,1E+01	1,1E-01	3,8E-06	4,0E-01	7,4E-01	2,5E-02	3,1E-04
51_TMR3_S2	1,8E+01	4,8E-02	3,2E-06	1,6E-01	-3,2E+00	-4,8E-02	3,9E-03
64_TMR3_S2	2,4E-01	2,4E-04	3,4E-08	7,9E-04	6,3E-03	1,9E-04	5,7E-06
63_TMR3_S2	3,2E-01	3,2E-04	4,5E-08	1,1E-03	8,3E-03	2,5E-04	7,6E-06
62_TMR3_S2	7,9E-01	8,0E-04	1,1E-07	2,6E-03	2,1E-02	6,3E-04	1,9E-05
73_TMR3_S2	3,9E+01	1,4E-01	5,1E-06	5,2E-01	1,4E+00	4,1E-02	8,2E-04
61_TMR3_S2	1,6E+00	1,6E-03	2,3E-07	5,3E-03	4,8E-02	1,3E-03	4,4E-05
42_EV2B_TMR3_S2	2,0E+01	1,7E-01	2,5E-06	7,2E-01	6,2E-01	1,9E-02	3,3E-04
71_TMR3_S2	7,2E+01	2,5E-01	8,9E-06	8,5E-01	1,5E+00	5,4E-02	5,3E-04

31_TMR3_S2	2,6E+01	8,7E-02	3,1E-06	2,6E-01	1,1E-02	3,1E-02	1,0E-03
34_TMR3_S2	2,5E+01	4,6E-02	3,1E-06	1,0E-01	6,8E-01	2,1E-02	3,2E-04

Annexe 2-s : Scores d'impact total et scores d'impact de chaque pratique du TMR3_S2 éco-conçu pour les 7 premières catégories d'impact prises en compte

CodePratique	Eutrophisation marine	Ecotoxicité terrestre	Acidification terrestre	Diminution des ressources fossiles	Diminution des ressources en métaux	Diminution des ressources en eau	Occupation de terres agricoles
91_TMR3_S2	3,0E-03	5,1E-04	5,9E-02	3,8E+00	6,6E-01	8,0E-02	4,5E-02
53_C_TMR3_S2	7,6E-03	7,4E-04	1,4E-01	6,3E+00	1,2E+00	8,4E-02	4,7E-02
77_TMR3_S2	5,9E-03	5,6E-04	1,1E-01	4,9E+00	7,7E-01	6,4E-02	3,4E-02
53_C_TMR3_S2	1,5E-02	1,4E-03	2,7E-01	1,2E+01	2,3E+00	1,6E-01	9,2E-02
88_TMR3_S2	6,3E-03	1,2E+00	3,1E-01	5,7E+00	1,2E+00	9,9E+00	1,6E-01
87_TMR3_S2	2,8E-03	2,2E-04	5,0E-02	2,0E+00	2,0E-01	4,3E-02	5,0E-02
78_TMR3_S2	5,9E-03	5,6E-04	1,1E-01	4,9E+00	7,7E-01	6,4E-02	3,4E-02
86_alt_TMR3_S2	1,2E-01	5,1E-02	4,7E-01	1,9E+01	6,2E+00	2,2E+00	7,9E-01
67_TMR3_S2	3,8E-05	2,3E-05	1,2E-03	1,6E-01	3,1E-02	4,7E-03	2,3E-03
54_TMR3_S2	6,0E-03	3,5E-03	1,1E-01	6,1E+00	1,4E+00	6,9E-01	2,0E-01
85_alt_TMR3_S2	5,4E-02	1,6E-02	1,7E-01	9,6E+00	3,0E+00	9,2E-01	3,2E-01
66_TMR3_S2	1,9E-05	1,2E-05	5,8E-04	8,0E-02	1,6E-02	2,3E-03	1,2E-03
74_TMR3_S2	5,9E-03	5,6E-04	1,1E-01	4,9E+00	7,7E-01	6,4E-02	3,4E-02
65_TMR3_S2	1,9E-05	1,2E-05	5,8E-04	8,0E-02	1,6E-02	2,3E-03	1,2E-03
84_cmr_TMR3_S2	4,7E-02	1,3E-02	1,6E-01	8,8E+00	2,6E+00	8,1E-01	2,9E-01
83_alt_TMR3_S2	9,5E-02	3,7E-02	2,5E-01	1,5E+01	4,9E+00	1,7E+00	6,2E-01
82_TMR3_S2	1,7E-02	9,6E-03	2,2E-01	8,9E+00	1,1E+00	3,3E-01	1,3E-01
81_TMR3_S2	5,2E-03	1,0E-02	9,4E-02	3,3E+00	8,0E-01	1,7E-01	7,8E-02
42_EV3B_TMR3_S2	1,4E-02	1,2E-03	2,4E-01	1,0E+01	2,0E+00	1,4E-01	8,4E-02
51_TMR3_S2	6,0E-03	3,5E-03	1,1E-01	6,1E+00	1,4E+00	6,9E-01	2,0E-01
64_TMR3_S2	1,9E-05	1,2E-05	5,8E-04	8,0E-02	1,6E-02	2,3E-03	1,2E-03
63_TMR3_S2	2,5E-05	1,5E-05	7,7E-04	1,1E-01	2,1E-02	3,1E-03	1,5E-03
62_TMR3_S2	6,3E-05	3,8E-05	1,9E-03	2,7E-01	5,2E-02	7,8E-03	3,8E-03
73_TMR3_S2	1,8E-02	1,6E-03	3,2E-01	1,4E+01	2,1E+00	1,8E-01	9,5E-02
61_TMR3_S2	1,3E-04	7,9E-05	3,9E-03	5,3E-01	1,2E-01	1,7E-02	8,1E-03
42_EV2B_TMR3_S2	2,6E-02	8,7E-04	4,0E-01	6,9E+00	1,2E+00	1,0E-01	6,5E-02
71_TMR3_S2	3,0E-02	2,5E-03	5,3E-01	2,4E+01	2,1E+00	2,7E-01	1,1E-01

31_TMR3_S2	4,6E-02	1,7E-02	2,4E-01	8,7E+00	3,3E+00	1,9E-01	4,3E-01
34_TMR3_S2	3,3E-03	1,0E-03	8,5E-02	8,5E+00	1,1E+00	1,1E-01	6,3E-02

Annexe 2-t : Scores d'impact total et scores d'impact de chaque pratique du TMR3_S2 éco-conçu pour les 7 dernières catégories d'impact prises en compte

Titre : Développement méthodologique pour la mise en œuvre d'une démarche participative d'éco-quali-conception[®] appliquée aux systèmes de production viticoles

Mots clés : ACV agricole, éco-conception, sciences participatives, conception innovante, transition

Résumé : Pour satisfaire de nouvelles exigences, notamment environnementales, la reconception des systèmes agricoles doit intégrer de nouveaux objectifs, modifier la façon dont les concepts et connaissances sont mobilisés et renouveler les méthodes d'évaluation et critères utilisés (Meynard et al., 2012). L'éco-conception vise à intégrer des aspects environnementaux dans la conception d'un produit (ISO 14006) et peut donc répondre à ces besoins et permettre de concevoir des systèmes agricoles éco-efficients. L'Analyse du Cycle de Vie (ACV) est une méthode d'évaluation environnementale recommandée pour outiller les démarches d'éco-conception. Par ailleurs, en France, où 93% de la production viticole est vendue sous signe de qualité (INAO, 2016), la qualité est souvent aussi importante que le rendement dans la définition des objectifs de production viticoles.

Ce travail de thèse explore l'intérêt et les modalités d'un rapprochement entre l'éco-conception et les démarches de co-conception de systèmes de culture. La problématique est ainsi articulée en trois temps : i) Pourquoi et comment mettre en place une démarche participative d'éco-conception en agriculture ? ii) ACV et démarche participative d'éco-conception en viticulture : quelles questions et solutions méthodologiques ? iii) Comment intégrer un objectif de qualité du raisin à une démarche d'éco-conception en viticulture ? Ces questions ont été explorées au travers de la mise en place d'une démarche participative d'éco-conception intégrant viticulteurs et conseillers viticoles. Cette démarche a été définie et appliquée avec deux groupes de viticulteurs et leurs conseillers viticoles dans la vallée de la Loire.

Title : Methodological development for the implementation of a participatory eco-quali-conception[®] approach applied to wine production systems

Keywords : Agricultural LCA, eco-design, participatory sciences, innovative design, transition

Abstract : To address new challenges, including environmental ones, the redesign of agricultural systems must incorporate new objectives, change the way concepts and knowledge are mobilized and renew the evaluation methods and criteria used (Meynard et al., 2012). Eco-design aims to integrate environmental aspects into the design of a product (ISO 14006) and can therefore meet these needs and make it possible to design eco-efficient agricultural systems. Life Cycle Assessment (LCA) is a recommended environmental assessment method to support eco-design approaches. Moreover, in France, where 93% of wine production is produced under quality labels (INAO, 2016), quality is often as important as yield in defining wine production objectives.

This thesis work explores the interest and modalities of a convergence between eco-design and co-design of cropping systems. The problem is thus articulated in three stages: i) Why and how can a participatory eco-design approach be implemented in agriculture? ii) LCA and participatory eco-design approach in viticulture: which methodological questions and solutions? iii) How to integrate a grape quality objective into an eco-design approach in viticulture? These questions were explored through the implementation of a participatory eco-design approach involving winegrowers and wine advisors. This approach was defined and applied with two groups of winegrowers and their wine advisors in the Loire Valley.