



THÈSE

**En vue de l'obtention du
DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE TOULOUSE**

Délivré par l'Université Toulouse 2 - Jean Jaurès

Présentée et soutenue par

Jean LARBAIGT

Le 24 novembre 2020

**Améliorer l'utilité, l'utilisabilité et l'acceptabilité de solutions
technologiques innovantes et interopérables en viticulture.**

Ecole doctorale : **CLESCO - Comportement, Langage, Education, Socialisation,
Cognition**

Spécialité : **Ergonomie**

Unité de recherche :

CLLE - Unité Cognition, Langues, Langage, Ergonomie

Thèse dirigée par

Céline LEMERCIER

Jury

Mme Emilie LOUP-ESCANDE, Rapporteur

M. Alain GARRIGOU, Rapporteur

Mme Irène GAILLARD, Examinatrice

M. Eric JAMET, Examineur

M. Franck AMADIEU, Examineur

REMERCIEMENTS

RESUMES

INTRODUCTION GENERALE.....	1
PARTIE I : CONTEXTE DE LA RECHERCHE.....	4
1. Le projet VitiOptimum.....	4
1.1. Objectifs	4
1.2. Systèmes technologiques envisagés	5
1.2.1. Application mobile	5
1.2.2. Système d'information géographique.....	5
1.2.3. Pièges connectés	6
2. La viticulture en France.....	6
2.1. Présentation de la filière	6
2.1.1. Viticulture de cuve.....	6
2.1.2. Viticulture de table	7
2.2. Description générale des activités viticoles.....	8
2.2.1. Entretien du sol	8
2.2.2. Entretien du palissage	9
2.2.3. Opérations en vert.....	9
2.2.4. Traitements phytosanitaires	9
2.3. Gestion du risque Eudémis.....	11
2.3.1. Biologie d'Eudémis	11
2.3.2. Evaluation du risque et stratégies de lutte	12
3. L'agriculture, un secteur en pleine mutation.....	13
3.1. Un modèle agricole dominant mais remis en question	13
3.2. Des pistes de transformation pour l'agriculture	17
3.2.1. Le conseil agricole	18
3.2.2. Les technologies en milieu agricole.....	19
PARTIE II : CADRE THEORIQUE.....	23
1. Introduction aux modèles de l'adoption technologique	23
1.1. Une première définition de l'adoption technologique.....	23

1.2. Contexte de l'étude de l'adoption technologique.....	25
2. Les modèles « classiques » de l'adoption technologique.....	27
2.1. Théorie de la diffusion de l'innovation (Rogers, 1962).....	27
2.1.1. Présentation du modèle.....	27
2.1.2. Critique du modèle.....	30
2.2. Théorie du Comportement Planifié (Ajzen, 1985).....	31
2.2.1. Présentation du modèle.....	31
2.2.2. Critique du modèle.....	34
2.3. Modèles de l'acceptation des technologies (Davis, 1989).....	35
2.3.1. Présentation du TAM.....	35
2.3.2. Critique du TAM.....	36
2.3.3. Présentation du TAM 2.....	37
2.3.4. Critique du TAM 2.....	38
2.3.5. Présentation du TAM 3.....	39
2.3.6. Critiques du TAM 3.....	40
2.4. Modèle du succès des systèmes d'information (DeLone & McLean, 1992).....	41
2.4.1. Présentation du modèle.....	41
2.4.2. Critique du modèle.....	42
2.5. Modèles de l'ingénierie de l'utilisabilité (Nielsen, 1993).....	43
2.5.1. Présentation des modèles.....	43
2.5.2. Critique des modèles.....	45
2.6. Théorie unifiée de l'Acceptation et de l'Usage des technologies (Venkatesh et al., 2003).....	46
2.6.1. Présentation du modèle.....	46
2.6.2. Critique du modèle.....	48
2.7. Synthèse sur les modèles classiques de l'adoption.....	49
2.7.1. Les apports des modèles classiques.....	49
2.7.2. Les limites des modèles classiques.....	50
3. L'adoption technologique et le concept d'activité.....	51
3.1. Le concept d'activité.....	52
3.2. Les modèles de l'adoption en lien avec le concept d'activité.....	55
3.2.1. L'approche instrumentale.....	55

3.2.2	La technosymbiose	57
3.2.3	L'acceptation située	60
3.3.	Quatre caractéristiques centrales	62
3.3.1.	L'utilisateur, acteur de l'adoption technologique	62
3.3.2.	Une approche située de l'adoption	63
3.3.3.	Une approche systémique de l'adoption	63
3.3.4.	L'adoption technologique : un processus dynamique dès la conception	64
4.	Actions ergonomiques pour l'adoption technologique	65
4.1.	Intervenir en conception	65
4.1.1.	Traits caractéristiques de l'intervention ergonomique en conception	66
4.1.2.	Les représentations dans le processus de conception	67
4.2.	Analyser l'activité des utilisateurs	69
4.2.1.	La nécessité d'analyser l'activité viticole	69
4.2.2.	Les outils de l'analyse de l'activité	70
4.3.	Tester les dispositifs techniques	71
4.1.	L'inspection ergonomique	72
4.2.	Les tests utilisateurs	73
4.4.	Simuler l'utilisation future des dispositifs	75
4.4.1.	La simulation en conception	75
4.4.2.	La simulation de l'activité	77
4.4.3.	La simulation de la tâche	78
5.	Problématique et démarche de recherche	80
PARTIE III : CONTRIBUTIONS EMPIRIQUES		84
1.	Favoriser l'adoption : analyse de l'activité des viticulteurs avec des entretiens	85
1.1.	Introduction	85
1.2.	Méthode	87
2.1.	Participants	87
2.2.	Guide d'entretien	89
2.3.	Organisation pratique des entretiens	90
1.3.	Résultats	91
3.1.	Variabilité des exploitations et des viticulteurs	91
3.2.	Activités mentionnées	93

3.3. Facteurs de décision pour les interventions.....	95
3.4. Facteurs de positionnement pour les interventions	100
1.4. Discussion et conclusion	103
2. Agir pour l'adoption technologique : intervention ergonomique en conception	107
2.1. Le conseil agricole et les technologies pour répondre aux enjeux de la viticulture ?	108
2.2. Approches théoriques de l'adoption technologique	110
2.2.1. Les modèles « classiques » de l'adoption technologique	110
2.2.2. L'adoption technologique dans l'activité	111
2.3. Contexte de la recherche-intervention et méthodologie.....	114
2.3.1. Analyser l'activité de conseiller agricole pour en élaborer une représentation mobilisée par les ergonomes	116
2.3.2. Comprendre les représentations que les deux concepteurs ont de cette activité	118
2.3.3. Agir pour que les représentations de chacun permettent un travail commun nécessaire au processus de conception	118
2.4. Résultats	119
2.4.1. Une représentation possible de l'activité de conseiller	119
2.4.2. Les représentations des concepteurs sur l'activité de conseiller.....	122
2.4.3. Ajustement cognitif entre acteurs de la conception	122
2.5. Discussion et conclusion	124
3. Anticiper des problèmes d'adoption : simulation expérimentale d'une tâche future.....	127
3.1. Introduction	127
1.1. La gestion actuelle du risque Eudémis par le conseiller.....	127
1.2. La gestion du risque Eudémis envisagée en conception	128
1.3. Le processus de recherche visuelle	131
3.2. Matériel et méthode.....	136
2.1. Participants.....	136
2.2. Matériel	136
2.3. Procédure	141
3.3. Résultats	143
3.1. Influence des informations contextuelles et de la similarité cible-distracteurs sur le processus de recherche visuelle.....	143
3.2. Traits guidant la recherche visuelle d'Eudémis	145

3.4. Discussion et conclusion	146
3.4.1. Compréhension du processus de recherche visuelle	146
3.4.2. Implications pour le projet	150
4. Evaluer l'acceptabilité : test utilisateurs de lunettes intelligentes de réalité augmentée	152
4.1. Synthèse de l'article soumis	152
4.2. Article soumis	155
4.2.1. What can ARSG bring?.....	155
4.2.2. Two main factors for the acceptability of ARSG.....	155
4.2.3. How we conducted the tests.....	156
4.2.4. What we found about the acceptability of ARSG.....	160
4.2.5. Echo to others studies	163
4.2.6. Recommendations for designers of ARSG.....	165
PARTIE IV : DISCUSSION GENERALE ET CONTRIBUTIONS DE LA THESE.....	166
IV. 1. Bilan de nos apports empiriques	166
IV. 2. Contribution théorique à la modélisation de l'adoption technologique	173
IV. 3. Contribution pratique	175
IV. 4. Conclusion	178
BIBLIOGRAPHIE	180
ANNEXES	212
Annexe 1 : Description des partenaires du projet VitiOptimum	212
Annexe 2 : définitions des critères ergonomiques	214
A. Heuristiques de Nielsen (1994)	214
B. Critères ergonomiques de Bastien et Scapin (1993).....	215
Annexe 3 : questionnaire de confort et d'expérience utilisateur pour le test de l'acceptabilité de lunettes intelligentes de réalité augmentée	216
A. Message vocal à enregistrer.....	216
B. Questionnaire de confort	216
C. Questionnaire d'expérience utilisateur	217
LISTES DES TABLES	219

LISTES DES FIGURES.....	220
ACTIVITES DE COMMUNICATION SCIENTIFIQUE ET D'ENSEIGNEMENTS.....	222

REMERCIEMENTS

Mes remerciements s'adressent en premier lieu à Céline Lemerrier qui m'a offert de très bonnes conditions de travail, tant sur les plans matériels qu'humains. Elle a su me transmettre son énergie, sa passion et sa rigueur. J'ai beaucoup appris au cours de ces 4 années de thèse, merci.

Je remercie tous les membres du jury ; Franck Amadieu, Irène Gaillard, Alain Garrigou, Éric Jamet et Emilie Loup-Escande ; pour le temps et l'attention qu'ils ont consacrés à l'évaluation de ce travail. Des remerciements particuliers à Éric pour sa participation au comité de suivi de thèse et à Irène pour cette même contribution, mais également pour la rédaction de l'article PISTES et pour la recherche de projet doctoral en 2016. Merci à vous tous.

Cette thèse s'est déroulée dans le cadre du projet VitiOptimum dont je tiens à remercier tous les acteurs : la coopérative agricole, les entreprises en charge de la conception des technologies, les professionnels universitaires, institutionnels, associatifs et régionaux, les financeurs, les viticulteurs et les participants à l'étude de recherche visuelle. Participer à ce projet était une riche expérience, merci à vous tous.

J'adresse un grand merci à tous les collègues chercheurs du laboratoire CLLE, passés et présents. La liste est trop longue mais je suis sûr qu'ils se reconnaîtront. Je pense également à toutes les personnes qui travaillent dans ce laboratoire pour que la recherche scientifique puisse se réaliser sous les meilleurs auspices. Merci à l'école doctorale CLESCO pour son accompagnement tout au long du parcours doctoral, ainsi qu'à l'université Toulouse Jean Jaurès. Enfin, je remercie le Centre National de la Recherche Scientifique. Merci à tous de m'avoir aidé à réaliser ce travail dans des circonstances très appréciables.

Merci à tous les membres des séminaires doctoraux de Bordeaux, passés et présents. La liste est trop longue...mais je suis sûr qu'ils se reconnaîtront. Les échanges sur l'agriculture, et l'ergonomie plus généralement, ont été passionnants et constructifs pour ce travail de thèse. Merci à vous tous.

J'ai une pensée pour les personnes que j'ai côtoyées tout au long de mes années universitaires, qu'ils soient collègues de promo ou enseignants-chercheurs. Merci.

Enfin, je tiens à remercier très chaleureusement toutes les personnes des sphères familiale et amicale. La liste est trop longue...mais je suis sûr qu'ils se reconnaîtront. Merci aux gangs d'Amikuze, de Bayonne, de la cité d'Ingres, de Lyon, de l'ergosphère et de l'optiquesphère. Un immense merci à ma famille, ancienne et nouvelle. Vous ne le savez peut-être pas mais vous avez tous joué un rôle majeur dans l'accomplissement de ce travail. Vous êtes géniaux. Merci à vous tous.

RESUMES

Cette thèse s'inscrit dans le cadre d'un projet de recherche conduit par une coopérative agricole. Dans la littérature, les technologies sont identifiées comme des leviers prometteurs pour faire évoluer les pratiques viticoles. Pour concrétiser ce potentiel, les technologies doivent être utilisées, interrogeant l'ergonomie sur la notion centrale de cette thèse : l'adoption technologique. Ce travail poursuit deux objectifs. Le premier consiste à comprendre les déterminants du processus d'adoption technologique, en situation professionnelle, dans une perspective ergonomique. Le second est d'engager une réflexion sur la pratique de l'ergonomie en faveur de ce processus d'adoption technologique. Quatre parties empiriques aux méthodologies variées sont présentées. La première partie vise, sur la base d'entretiens, à comprendre les raisonnements élaborés par les viticulteurs pour décider des interventions culturales. La deuxième partie propose une pratique réflexive sur les apports de l'intervention ergonomique en conception. La troisième partie est une expérience de recherche visuelle permettant d'anticiper l'utilisation d'une technologie envisagée dans le cadre du projet. Enfin, la quatrième partie présente une démarche d'évaluation de l'acceptabilité d'une technologie. A travers ces quatre parties empiriques, des déterminants de l'adoption technologique sont identifiés, en complément des facteurs des modèles théoriques existants. Sont discutés les limites et les perspectives de quatre actions ergonomiques : analyser l'activité, intervenir en conception, simuler une tâche et tester un système. Cette thèse contribue d'une part à une nouvelle grille de lecture théorique de l'adoption technologique, et d'autre part à la pratique de l'ergonomie sur cette thématique.

Mots clés : ergonomie, technologies, adoption, conception, viticulture, conseil agricole

This thesis is part of a research project conducted by an agricultural cooperative. In the literature, technologies have been identified as promising levers for changing viticultural practices. To realize this potential, technologies must be used, questioning ergonomics on the central notion of this thesis: technological adoption. This work has two objectives. The first is to understand the determinants of the process of technological adoption, in occupational situations, from an ergonomic perspective. The second is to initiate a reflection on the practice of ergonomics in favour of this process of technological adoption. Four empirical parts with various methodologies are presented. The first part aims, on the basis of interviews, to understand the reasoning developed by winegrowers to decide on cultivation interventions. The second part proposes a reflexive practice on the contributions of ergonomic intervention in design. The third part is a visual research experiment to anticipate the use of a technology envisaged in the project. Finally, the fourth part presents an approach for evaluating the acceptability of a technology. Through these four empirical parts, determinants of technology adoption are identified, in addition to factors from existing theoretical models. The limits and perspectives of four ergonomic actions are discussed: analysing the activity, intervening in design, simulating a task and testing a system. This thesis contributes on the one hand to a new theoretical reading grid of technological adoption, and on the other hand to the practice of ergonomics on this theme.

Key words: ergonomics, technology, adoption, design, viticulture, agricultural advice

INTRODUCTION GENERALE

Cette thèse s'intéresse à l'adoption technologique, en mobilisant 2 approches complémentaires de l'ergonomie : d'une part, l'ergonomie de l'activité, courant francophone à dominante européenne, issue des travaux de Faverge et Ombredane de 1955 ; d'autre part l'ergonomie des facteurs humains (human factors), courant anglophone à dominante américaine, fondée à la sortie de la Seconde Guerre Mondiale. Dans un premier temps, l'approche de l'activité est sollicitée pour comprendre les déterminants des situations de travail, à travers une démarche qualitative et exploratoire. Dans un second temps, l'approche facteurs humains est déployée pour étudier les effets de déterminants spécifiques, à l'aide de méthodologies expérimentales. Ce travail de thèse articule ces 2 approches et envisage l'ergonomie comme une discipline d'analyse et d'action (Van Belleghem, 2017). L'ergonomie ambitionne de comprendre les situations, d'identifier les facteurs qui ont un effet sur le comportement, et d'orienter l'action pour soutenir la conception de systèmes répondant aux besoins, aux attentes et aux contraintes des utilisateurs¹ finaux. L'ergonomie produit à la fois des connaissances sur l'activité humaine et sur l'action ergonomique (Daniellou, 2006 ; Falzon, 1998 ; Petit et al., 2007 ; Poley, 2015).

D'un point de vue de la recherche, les objectifs de cette thèse sont la production de connaissances sur l'activité d'opérateurs (conseiller agricole & viticulteur), la construction d'une réflexion sur l'action ergonomique pour favoriser l'acceptabilité des technologies, et la proposition d'une modélisation de l'adoption technologique. D'un point de vue opérationnel, le but est d'accompagner les acteurs du projet FUI² VitiOptimum 2.0 pour concevoir des technologies adaptées aux utilisateurs visés (conseiller agricole & viticulteur). Ce projet de recherche constitue le cadre du travail de thèse. Mené sur le terrain avec une diversité d'acteurs (coopérative, entreprises, universités, institutions), il aspire à moderniser, par le développement technologique, la prestation de conseil proposée par la coopérative maître d'ouvrage à destination de viticulteurs adhérents. L'objectif final est d'amener les pratiques viticoles vers l'agroécologie.

¹ Dans cette thèse, le terme « utilisateur » définit la personne qui utilise, quel que soit son genre

² Fond Unique Interministériel

Ce document se découpe en 4 grandes parties. La partie I, composée de 3 chapitres, permet de situer le contexte du travail de thèse. Le 1^{er} chapitre décrit le projet VitiOptimum. Le 2^{ième} chapitre présente la viticulture en France et les activités générales associées. Le 3^{ième} chapitre expose le contexte agricole plus global dans lequel la viticulture est intégrée, et les enjeux des transformations des pratiques.

La partie II se découpe en 5 chapitres et présente le cadre théorique de la notion centrale de cette thèse : l'adoption technologique. Le chapitre 1 apporte une première définition de cette notion, ainsi que le contexte de son étude par les différentes disciplines. Le 2^{ième} chapitre propose une présentation puis une analyse de 6 modèles théoriques de l'adoption technologique. Une synthèse de ces modèles est ensuite réalisée avant d'appréhender l'adoption technologique au prisme du concept d'activité dans le 3^{ième} chapitre. Trois approches sont alors présentées : l'approche instrumentale, la technosymbiose et l'acceptation située. Le 4^{ième} chapitre fournit les bases théoriques de 4 actions ergonomiques en lien avec l'adoption technologique : intervenir en conception, analyser l'activité des utilisateurs, tester l'acceptabilité des technologies, simuler l'utilisation future des systèmes. Le 5^{ième} chapitre expose la problématique et les objectifs de cette thèse.

La partie III retrace la contribution empirique de cette thèse. Elle intègre 4 chapitres. Le 1^{er} chapitre empirique a pour objectif d'analyser l'activité des utilisateurs viticulteurs pour accompagner la conception. Il vise à comprendre les raisonnements élaborés par les viticulteurs pour décider d'une intervention culturale dans la parcelle. Le 2^{ième} chapitre empirique est présenté sous la forme d'un article publié dans *Perspectives Interdisciplinaires sur le Travail et la Santé*. Il propose une analyse, à partir d'une pratique réflexive, d'une intervention ergonomique réalisée dans le cadre du projet VitiOptimum. Le 3^{ième} chapitre vise à comprendre le processus de recherche visuelle d'Eudémis, pour essayer d'anticiper l'utilisation d'une technologie envisagée dans le projet (piège connecté). L'étude de ce processus s'est basée sur une démarche expérimentale. Enfin, le 4^{ième} chapitre empirique présente une démarche pour évaluer l'acceptabilité d'une technologie « wearable » envisagée dans le cadre du projet VitiOptimum (lunettes intelligentes de réalité augmentée). Ce chapitre est une synthèse d'un article soumis à la revue *Ergonomics in Design*, suivie du papier proposé.

La partie IV est consacrée à la discussion générale et aux contributions de la thèse. Elle compte 4 chapitres. Dans un premier temps, un bilan de l'apport empirique de cette thèse est réalisé. Puis, ce bilan conduit à la contribution théorique de ce travail qui traite de la modélisation de

l'adoption technologique. Ensuite, est présentée la contribution pratique de ce travail, en précisant ses limites et ses perspectives. Enfin, une conclusion termine ce manuscrit.

PARTIE I : CONTEXTE DE LA RECHERCHE

1. Le projet VitiOptimum

1.1. Objectifs

Le projet VitiOptimum, d'une durée de 4 ans (juin 2016-juin 2020), est soutenu par le Fonds Unique Interministériel (FUI). Porté par une coopérative agricole, il rassemble 6 autres partenaires privés, territoriaux, institutionnels et universitaires (cf. Annexe 1), dans une approche interdisciplinaire. L'objectif principal du projet est d'accompagner les viticulteurs vers des pratiques agroécologiques en s'appuyant sur le développement technologique et la modernisation de la prestation de conseil.

Cette prestation payante (prix moyen payé par le viticulteur : environ 1000 euros/ an) existe depuis une demi-douzaine d'années et rassemble actuellement une quinzaine d'exploitations viticoles volontaires (240 ha cumulés), réparties sur 2 départements de la région Occitanie (Tarn-et-Garonne et Haute-Garonne). La prestation de conseil personnalisé propose un ensemble de services et d'outils (observations régulières dans les vignes, ensemble d'informations, analyses biologiques de la vigne etc.) sur la base d'une tarification mixte (forfait de base + prix à l'hectare).

Le projet vise la conception et l'évaluation de plusieurs technologies numériques (cf. I.1.2.) à destination du conseiller en viticulture et des viticulteurs. Les technologies envisagées tendent à améliorer le suivi des parcelles et la pertinence des préconisations du conseiller. La finalité est d'accompagner les viticulteurs dans l'optimisation et la sécurisation de leur production, tout en réduisant le recours aux intrants (principalement les engrais et les produits phytosanitaires³). Par un conseil plus précis, plus personnalisé et en temps réel, il s'agit finalement d'amener les viticulteurs vers des pratiques agroécologiques.

Au-delà des enjeux environnementaux, économiques et sanitaires de la réduction des intrants (cf. I.3.2.) le projet doit permettre d'améliorer la rentabilité de la prestation de conseil. La coopérative ambitionne d'accompagner un plus grand nombre de producteurs sans

³ Dans cette thèse, les termes pesticides, produits phytosanitaires, produits phytopharmaceutiques seront utilisés comme des synonymes.

augmenter fortement ses effectifs. Elle vise un accroissement de 50% de la surface suivie par conseiller. Le projet s'inscrit dans le contexte de séparation de la vente et du conseil à l'utilisation des produits phytosanitaires, découlant des Etats Généraux de l'Alimentation de juillet 2017. Cette séparation sera effective en 2021, obligeant les coopératives agricoles françaises à se positionner comme fournisseur de pesticides ou fournisseurs de conseil stratégique à leur utilisation. Le projet VitiOptimum constitue une opportunité, pour la coopérative, de se positionner comme un acteur du conseil stratégique.

La contribution du laboratoire CLLE porte sur 3 dispositifs envisagés dans le projet VitiOptimum : une application mobile, un système d'information géographique et un piège connecté. Le laboratoire se positionne donc à l'interface de la maîtrise d'ouvrage (coopérative agricole) et des 3 entreprises en charge de la conception de ces dispositifs. Les noms des partenaires ont été anonymisés.

1.2. Systèmes technologiques envisagés

1.2.1. Application mobile

A partir d'un outil déjà commercialisé par l'entreprise A, l'application mobile envisagée doit permettre de saisir un ensemble de données complexes et de les intégrer à un système d'information complet. Le conseiller pourra ainsi, directement sur la parcelle s'il le souhaite (1) saisir et enregistrer des observations sur parcelle (2) rédiger une préconisation (3) l'envoyer à la quinzaine de producteurs suivis. Au démarrage du projet, l'utilisation de cette application est envisagée sur des lunettes connectées. La conception de cet outil est confiée à l'entreprise A. Le CLLE intervient sur la conception de l'application (cf. III.2) et les test utilisateurs des lunettes connectées (cf. III.4).

1.2.2. Système d'information géographique

Le système d'information géographique (SIG) imaginé est un portail cartographique web à destination des conseillers et des viticulteurs. Il permet la visualisation et le traitement des données issues des technologies du projet. Sa conception est confiée à l'entreprise B, qui a déjà travaillé à la conception d'un SIG dans le cadre d'un projet antérieur. Le CLLE réalise une analyse de l'activité des viticulteurs (cf. III.1).

1.2.3. Pièges connectés

L'entreprise C est en charge de la conception d'un piège connecté pour un ravageur de la vigne : le papillon Eudémis (cf. I.3.2). Ce système d'identification automatique ne se base pas sur un outil existant, même si la société C a déjà développé des systèmes analogues. Le CLLE propose une simulation expérimentale de l'utilisation du piège (cf. III.3).

2. La viticulture en France

2.1. Présentation de la filière

Le projet VitiOptimum se déroule dans le domaine viticole. La viticulture, ou culture de la vigne, mène à la production de raisins dits de cuve (qui seront transformés en vins) et de raisins dits de table (raisins vendus sous forme de fruits).

La viticulture est une activité très ancienne. Partie intégrante des civilisations méditerranéennes depuis des millénaires, elle est présente sur la quasi-totalité du territoire français dès la fin du 18^{ème} siècle, représentant une des principales activités économiques de l'époque (Valdivieso Larrain, 2012). En 2016, le vignoble français est le 3^{ème} plus grand vignoble du monde, avec ses 786 054 ha destinés à la viticulture, derrière l'Espagne (975 270 ha) et la Chine (858 176 ha) mais devant l'Italie (692 511 ha). Environ 10,5% des terres mondiales consacrées à la viticulture se trouvent dans l'Hexagone. En France, la viticulture est très majoritairement destinée au raisin de cuve. En effet, en 2017, plus de 99% du vignoble français sont destinés à la viticulture de cuve, produisant 5 417 035 tonnes de raisins en 2017. La France occupe ainsi des places très différentes dans la viticulture mondiale, selon que l'on considère le raisin de cuve ou celui de table (Organisme International de la Vigne et du Vin, Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation, FranceAgrimer).

2.1.1. Viticulture de cuve

Pour le raisin de cuve, la France est un acteur mondial majeur tant en termes de production que de consommation. Au niveau productif, la France est le 2^{ème} fournisseur mondial de vins (après l'Italie) avec 45 millions d'hectolitres produits (en 2016 selon l'Organisme International de la Vigne et du Vin). Cela représente 17% de la production mondiale. Le tiers de cette production est exporté. De plus, la France, avec 27 millions d'hectolitres consommés en 2016,

est le 2^{ième} pays consommateur de vin après les Etats-Unis (31 millions d'hectolitres). La viticulture est une « activité primordiale, à plus d'un titre, pour la société française », d'un point de vue économique, culturel et sociétal (Valdivieso Larrain, 2012, p18). La viticulture de cuve occupe une place centrale dans l'économie française. La filière vins et spiritueux est le 2^{ième} poste excédentaire de la balance commerciale française (le 1^{er} pour les produits agroalimentaires) avec un solde positif de 8,1 milliards d'euros. La viticulture de cuve représente également un domaine notable au sein de l'agriculture française (20% des exploitations françaises ont une activité viticole), tant en valeur (15% de la valeur de la production agricole française), qu'en emplois (250 000 emplois directs). Les 85 000 exploitations viticoles cultivent 786 054 ha de terres réparties sur une dizaine de bassins viticoles : Alsace-Est, Aquitaine, Bourgogne-Beaujolais-Savoie-Jura, Champagne, Charentes-Cognac, Corse, Occitanie, Sud-Ouest, Val de Loire-Centre, Vallée du Rhône-Provence. Le vignoble de Midi-Pyrénées, cadre du projet VitiOptimum, occupe 11% des surfaces du vignoble d'Occitanie qui représente 35% du vignoble français (*Agroscope Languedoc-Roussillon-Midi-Pyrénées*, 2016). La moitié des surfaces françaises viticoles est destinée aux produits d'Appellation d'Origine Contrôlée (AOC). L'autre moitié se répartit entre les produits d'Indication Géographique Protégée (IGP) et les Vins Sans Indication Géographique (VSIG) (Organisme International de la Vigne et du Vin, Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation, FranceAgrimer).

2.1.2. Viticulture de table

Concernant le raisin de table, la France est le 16^{ième} producteur mondial, avec 45 592 tonnes, loin derrière le numéro 1 chinois (10 200 000 tonnes). La France ne produit que 0,16% du raisin de table mondial. Elle est un importateur de raisin de table, portant sa consommation totale à 165 376 tonnes en 2016, soit 1,6% de la consommation de la Chine (1^{er} consommateur mondial avec 10 150 000 tonnes). Au niveau national, la viticulture de table occupe moins de 1% de la superficie du vignoble français, produisant 41 829 tonnes de raisin en 2017. La production française de raisin de table est très localisée, puisque 2 départements assurent plus de 90% des raisins de table : le Vaucluse (65%) et le Tarn-et-Garonne (27%) où l'AOC Chasselas de Moissac tient un rôle important (Organisme International de la Vigne et du Vin, Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation, FranceAgrimer).

2.2. Description générale des activités viticoles

Les activités viticoles consistent à conduire le développement de la vigne. Elles tiennent une place importante dans ce travail de thèse. Elles font l'objet d'une première présentation dans cette partie. Le tableau 1 schématise le calendrier des principales activités viticoles.

Période	Cycle végétatif de la vigne	Activités viticoles
Janvier/Février/ Mars	Repos végétatif de la vigne	Taille
Mars/Avril	Débourrement (développement des bourgeons, croissance des rameaux et des feuilles)	Entretien du sol Entretien du palissage ⁴ Opérations en vert
Mai/Juin/ Juillet/Août	Floraison (apparition de la fleur) Nouaison (apparition des grains de raisin) Véraison (coloration des raisins en rouge ou en jaune)	Observations des parcelles Opérations de fertilisation Traitements phytosanitaires
Septembre/Octobre/ Novembre	Maturation	Vendange (raisin de cuve) Récolte (raisin de table)
Novembre/Décembre	Chute des feuilles	

Tableau 1 : Principales activités viticoles (adapté de Valdivieso Larrain, 2012)

2.2.1. Entretien du sol

L'entretien du sol rassemble un ensemble de techniques mécaniques et chimiques pour favoriser la qualité du sol et lutter contre les adventices, ou « mauvaises herbes » (Valdivieso Larrain, 2012) : labour, tonte, enherbement (permanent/temporaire, total/partiel), désherbage chimique etc.

⁴ Support sur lequel la vigne est attachée (tuteurs, fils de fer etc.) pour maintenir sa croissance dans une direction déterminée (www.larousse.fr)

2.2.2. Entretien du palissage

La vigne étant une liane, elle requiert un support pour se développer (Jourdan, 1990). C'est le rôle du palissage (ensemble des piquets et de fils releveurs) qui fait l'objet d'un entretien par le viticulteur.

2.2.3. Opérations en vert

Les opérations en vert désignent un ensemble d'actions (manuelles, mécaniques ou chimiques) portées sur les rameaux, les feuilles et les grappes de la vigne : rognage⁵, écimage⁶, épamprage⁷, effeuillage⁸, éclaircissage⁹, entretien du palissage, etc.

2.2.4. Traitements phytosanitaires

Les traitements phytosanitaires sont au cœur de nombreux enjeux et constituent une pratique centrale dans l'activité de viticulteur (Valdivieso Larrain, 2012), quelque que soit le mode de production (conventionnel, biologique...). Ils visent à pulvériser des produits (de synthèse chimique ou de biocontrôle) pour combattre les adventices et les nombreux bioagresseurs de la vigne, qu'ils soient champignons (mildiou, oïdium, botrytis, black rot, excoriose...), insectes (flavescence, thrips, papillons etc.), virus ou phytoplasmes, pouvant nuire aux souches et à la récolte (Mezière & Gary, 2009). Ces produits se présentent sous forme solide (granulés, poudres etc.) ou liquide. On distingue communément 3 grands modes d'action (Davy, s.d) : par contact (le produit se pose sur la plante mais n'y pénètre pas, il est exposé au risque de lessivage par la pluie), par pénétration (le produit pénètre dans la plante) et par approche systémique (le produit pénètre dans la plante et est diffusé via la sève). Ces produits peuvent avoir une action préventive et/ou corrective.

Deux indicateurs, quantitatifs et complémentaires, d'utilisation des produits phytosanitaires sont classiquement utilisés (Simonovici, 2019, p6) :

⁵ Suppression des extrémités des rameaux poussant sur les côtés

⁶ Suppression des extrémités des rameaux poussant vers le haut

⁷ Suppression des rameaux non fructifères sur la base du tronc de la souche

⁸ Suppression de feuilles dans la zone fructifère

⁹ Suppression des grappes en excès par rapport aux objectifs de production, au climat ou aux capacités de la plante
www.ephytia.inrae.fr

- le nombre moyen de traitements. Un traitement correspond à l'application d'un produit lors d'un passage. Cet indicateur n'est pas suffisant car un traitement ne se fait pas forcément à pleine dose ou sur l'entièreté des parcelles pour une culture donnée.
- l'Indice de Fréquence des Traitements (IFT), défini par la formule :

$IFT_{\text{traitement}} = DA/DR \times PST$ (avec DA = Dose Appliquée, DR = dose de référence, PST = Proportion de Surface Traitée).

Trois points importants quant aux pratiques phytosanitaires dans les parcelles viticoles françaises sont à retenir (Simonovici, 2019) :

(1) Les traitements phytosanitaires concernent l'ensemble des parcelles. Sur la campagne 2016, une parcelle a reçu 20 traitements en moyenne, pour un IFT moyen de 15,3 (constitué à 12% de produits de biocontrôle).

(2) Les traitements appliqués sont très largement des fongicides (8 traitements sur 10, représentant 83% de l'IFT moyen), loin devant les insecticides-acaricides et les herbicides (représentant chacun 1 traitement sur 10). Ils concernent en très grande partie le mildiou et l'oïdium, et dans une très faible proportion le botrytis, le black rot et l'excoriose.

(3) Les traitements phytosanitaires sont en progression, tant au niveau du nombre moyen de traitements (16,4 en 2010 - 19,3 en 2013 - 20,1 – 2016) que de l'IFT moyen (12,8 en 2010 - 15 en 2013 - 15,3 en 2016). Cette augmentation concerne les 3 principales catégories de produits phytosanitaires en viticulture (fongicides, insecticides-acaricides, herbicides) et s'explique à la fois par la hausse des produits de biocontrôle (+78% entre 2010 et 2016) et celle des produits hors biocontrôle (+16% entre 2000 et 2016).

La protection de la vigne contre les bioagresseurs est une activité viticole importante. Parmi ces bioagresseurs, le papillon Eudémis (aussi appelé vers de la grappe) est un ravageur important dans les vignobles concernés par le projet VitiOptimum. La conception du piège connecté (cf. I.1.2) est un outil envisagé pour améliorer la gestion de ce risque. La partie suivante présente synthétiquement l'Eudémis et les pratiques culturales concernées, à partir du livre de Denis Thiéry (2006) *Vers de la grappe : les connaître pour s'en protéger*. Elle constitue un point d'appui pour la compréhension de la partie empirique III.3 de ce travail de thèse.

2.3. Gestion du risque Eudémis

Eudémis est un ravageur majeur des grappes dans les vignobles européens plutôt chauds et secs. Observé pour la première fois dans les vignes françaises à la fin du 19^{ème} siècle, les dégâts qu'il cause ne sont actuellement pas pleinement maîtrisés.

2.3.1. Biologie d'Eudémis

Le cycle de vie d'Eudémis compte 4 étapes (cf. figure 1) : œuf, chenille, chrysalide, papillon.

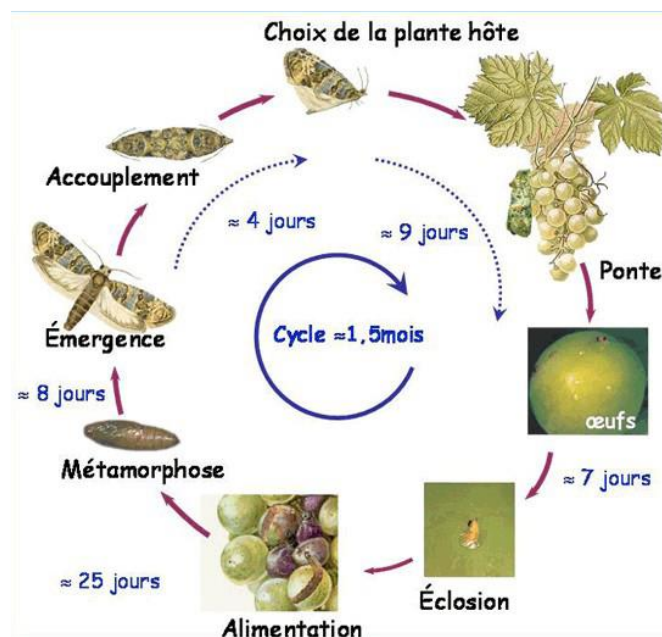


Figure 1: Cycle de vie d'Eudémis (Thiéry, 2006)

Six éléments physiologiques sont importants pour comprendre la gestion du risque Eudémis en viticulture :

(1) La chenille est la forme du papillon dangereuse pour la vigne. Seules les chenilles se nourrissent. Pour survivre, elles doivent absolument pénétrer dans une baie dans les 10 heures après leur éclosion.

(2) L'évaluation du risque Eudémis est couplé à d'autres risques. La perforation des baies par les chenilles cause des dégâts directs (perte de matière première pour tout type de vignoble et dégradation de l'esthétique visuel pour le raisin de table) mais surtout indirects, en constituant une porte d'entrée, principalement pour le champignon *Botrytis Cinerea* (qui entraîne la

pourriture grise), et dans une moindre mesure pour le champignon *Aspergillus* (qui entraîne la pourriture noire) et des drosophiles (qui entraînent la pourriture acide).

(3) L'historique de la parcelle est une donnée influente dans l'évaluation du risque car *Eudémis* reste sur les parcelles en hiver (sous forme de chrysalide) dans l'écorce, les grappes non ramassées et le sol.

(4) Les pièges sont des outils importants pour la gestion du risque *Eudémis*. En effet, il n'est pas facile d'observer ce petit papillon (environ 1.5 cm d'envergure) lucifuge qui se cache dans le feuillage ou au sol pendant la journée.

(5) L'accouplement des papillons repose sur des phéromones sexuelles. Elles permettent aux mâles de repérer les femelles. Cette caractéristique est utilisée pour le piégeage des adultes et la lutte par confusion sexuelle.

(6) Trois voire quatre générations ont lieu au cours de l'année. Les générations 1 (mai - mi-juillet) et 4 représentent un faible risque pour la vigne. Les générations 2 (juillet - mi-septembre) et 3 (août - novembre), elles, sont particulièrement dangereuses.

2.3.2. Evaluation du risque et stratégies de lutte

Plusieurs techniques peuvent être mobilisées de façon complémentaire pour évaluer le risque *Eudémis* : comptages (œufs, chenilles, glomérules¹⁰), OAD¹¹ (modélisation de la physiologie d'*Eudémis* en fonction des conditions météorologiques) et piégeage sexuel des mâles par un piège disposé directement dans la vigne, composé d'une capsule de phéromone (attraction des mâles) déposée sur une plaque de glu d'environ 20x20 cm (capture des mâles). Ces 2 dernières techniques (OAD et piégeage sexuel) servent à suivre la dynamique du cycle du papillon pour déterminer la date d'apparition des chenilles dans la parcelle, et donc le positionnement d'une intervention (moment de réalisation de l'intervention).

La lutte contre *Eudémis* repose sur 4 principales techniques, biologiques et chimiques, préventives et curatives, qui sont souvent combinées. La confusion sexuelle est une lutte biotechnique basée sur la saturation de l'air en phéromone, à l'aide de diffuseurs disposés dans la parcelle (Mezière & Gary, 2009). Les mâles ainsi désorientés ne trouvent pas les femelles, compromettant l'accouplement. Quelques viticulteurs engagés dans le suivi ont recours à cette

¹⁰ « une sorte de 'nid' tissé avec de la soie par la chenille qui agglomère quelques boutons floraux, ce qui lui assure une protection contre les prédateurs et parasites » (Thiéry, 2006, p47)

¹¹ Outil d'Aide à la Décision

technique. La toxine *Bacillus thuringiensis* est un larvicide biologique entraînant la mort des chenilles par ingestion du produit. Cette technique ne semble pas utilisée par les viticulteurs suivis. La lutte contre Eudémis peut également passer par le développement des auxiliaires (prédateurs naturels du papillon tels que les oiseaux, les chauve-souris et les trichogrammes). Enfin, les insecticides chimiques (ovicides, larvicides, produits mixtes) sont une solution curative mobilisée par les viticulteurs suivis. Quelle que soit la technique de lutte (exceptée pour les diffuseurs de confusion sexuelle disposés en début de campagne jusqu'à sa fin), le positionnement de l'intervention est crucial. Il est donc indispensable de connaître la dynamique de vol pour déterminer l'étape du cycle de vie du papillon (œuf, chenille, adulte) à un instant t.

L'ensemble des activités viticoles (opérations en vert, traitements phytosanitaires, gestion du risque Eudémis etc.) s'insèrent dans le cadre plus général des pratiques agricoles. L'agriculture connaît actuellement de profondes mutations, décrites dans la partie suivante.

3. L'agriculture, un secteur en pleine mutation

3.1. Un modèle agricole dominant mais remis en question

Le modèle agricole actuellement dominant en France est désigné par de nombreuses appellations : agriculture conventionnelle, moderne, productiviste, intensive, industrielle, d'entreprise (Deléage, 2011 ; Moreiro, 2017). Il trouve ses origines dans la 2^{ème} révolution agricole consécutive à la Seconde Guerre Mondiale, en réponse à la pénurie alimentaire (Guillou et al., 2013 ; Léméry, 2003). Ce modèle se base sur 2 piliers principaux : la mécanisation et la chimie de synthèse (Isaac & Pouyat, 2015), faisant de l'agriculture un important marché pour les entreprises d'agrofouritures (Cerf & Sagory, 2004). Les produits phytosanitaires se développent (herbicides et insecticides dans les années 1950, fongicides dans les années 1970) (Aubertot et al., 2005). Les machines agricoles et les intrants chimiques (engrais et pesticides) doivent permettre d'intensifier la production d'une agriculture de spécialisation, soutenue par des moyens publics (Léméry, 2003). Favori des politiques nationales et européennes, des lobbies de l'agro-industrie et du syndicalisme agricole majoritaire (Deléage, 2011 ; Valdivieso Larrain, 2012), ce modèle s'est imposé en France en augmentant fortement la productivité par hectare et par travailleur (Schaller, 2013). La France

devient dépendante aux produits phytosanitaires dont elle est le plus gros consommateur européen (le 3^{ième} au Monde) en termes de volumes (Aubertot et al., 2005), et le 4^{ième} plus gros consommateur européen en termes de volumes à l'hectare (Aujas et al., 2011). Cette dépendance aux pesticides est particulièrement marquée en viticulture, qui représente 20% de la consommation nationale pour seulement 3% de la Surface Agricole Utile (Garrigou et al., 2012 ; Valdivieso Larrain, 2012). L'agriculture française devient également dépendante aux énergies fossiles pour la fabrication des engrais azotés de synthèse et le fonctionnement des machines (Guillou et al., 2013 ; Schaller, 2013).

Peu à peu depuis les années 1980, le modèle productiviste montre ses limites. Les critiques se font de plus en plus fortes, particulièrement à partir des années 1990 (Deléage, 2011) puis le début des années 2000 avec une meilleure compréhension des conséquences négatives des produits phytosanitaires longtemps sous-estimées (Aubertot et al., 2005 ; Aujas et al., 2011). Ce modèle, qui a servi de base à la modernisation de l'agriculture, est présenté comme « essoufflé » (Léméry, 2003), « en crise » (Cerf & Sagory, 2004) et même « nocif pour les humains et les écosystèmes » (Deléage, 2011). La double dépendance de l'agriculture (aux produits phytosanitaires et aux énergies fossiles) engendrent des atteintes environnementales à plusieurs niveaux : pollutions des eaux superficielles et souterraines (De Rudnicki et al., 2009), dégradation et pollutions des sols (Blazy et al., 2011), pollution de l'air (Guillou et al., 2013), déforestation (Isaac & Pouyat, 2015), production de gaz à effets de serre (Schaller, 2013), consommation d'eau et d'énergies non renouvelables (Moreiro, 2017), atteinte à la biodiversité (Béguin & Pueyo, 2011) etc.

L'agriculture intensive est également remise en question pour ses limites techniques. Les pesticides peuvent entraîner des résistances des espèces combattues, une destruction des prédateurs naturels du ravageur visé et la baisse de la fertilité des sols (Muzari, 2016).

Au-delà des interrogations écologiques et techniques, l'agriculture intensive a des effets sociaux et économiques. La rentabilité des exploitations est un problème majeur (Guillou et al., 2013). 48 % des agriculteurs (contre 21 % pour le reste de la population) seraient endettés de plus de 100 000 euros (Isaac & Pouyat, 2015). D'une part, les agriculteurs voient leurs bénéfices contraints par les acteurs de l'agroalimentaire et les consommateurs. D'autre part, les coûts de production (équipements, semences, intrants...), déjà importants (Tey & Brindal, 2012), sont en forte augmentation (Proffitt & Winter, 2008, Jourdan, 1990). Le coût des intrants de façon générale (ex : produits phytosanitaires et engrais) représente une dépense importante pour

l'agriculteur. Ainsi, Ambrosio, Linehan, & Kaine (2006) montrent que c'est le premier coût pour les céréaliers de leur étude. Le coût de l'usage des pesticides est également un problème pour les viticulteurs (Nicourt, 2016) où le coût moyen des produits phytosanitaires est de 394 euros/ha, contre 134 euros en grandes cultures (Métral et al., 2012).

Enfin, l'agriculture intensive porte atteinte à la santé humaine (Carpentier, 1996). Plusieurs populations sont concernées. Les intrants nuisent d'abord à la santé des agriculteurs, particulièrement les pesticides dont les impacts (cancers, troubles neurologiques, troubles de la reproduction) sont connus et reconnus depuis les années 2000 (Garrigou et al., 2012). Les situations d'exposition sont multiples (préparation de la bouillie, remplissage du pulvérisateur, pulvérisation, travaux réalisés dans des parcelles pulvérisées ...), caractérisées par de la polyexposition (exposition, simultanée ou successive, à plusieurs pesticides), de la multiexposition (exposition simultanée par les voies orale, respiratoire et cutanée) et de la microexposition (expositions fréquentes à des quantités faibles) (Krishnan et al., 2019). Ces risques chimiques s'ajoutent à de nombreux autres facteurs de pénibilité (Vyas & Bajpai, 2016) tels que les contraintes physiques (postures contraignantes, expositions thermiques et sonores, expositions aux vibrations lors de la conduite d'engins...), organisationnelles et relationnelles (forte charge de travail, exigences de flexibilité et de saisonnalité, durée inégale de travail d'une semaine à l'autre, pression temporelle, astreintes, imbrication vie professionnelle/vie privée, isolement...) comme en témoignent les enquêtes SUMER (Béguin & Pueyo, 2011). De plus, les techniciens agricoles sont également exposés (voies cutanée et respiratoire), principalement lors des observations dans les parcelles (Nicourt, 2016). Outre les acteurs agricoles, les pesticides peuvent également impacter la santé des populations aux environs proches des parcelles notamment lors de l'épandage d'intrants dans les champs. Enfin, les pesticides posent des questions plus globales de Santé Publique (Moreiro, 2017) avec les pollutions des systèmes eau/air/sol ainsi que la présence de produits chimiques dans la nourriture (Deléage, 2011 ; Valdivieso Larrain, 2012).

Les pratiques agricoles conventionnelles doivent évoluer vers une agriculture plus durable (Ambrosio et al., 2006 ; Béguin et al., 2011 ; Cerf & Sagory, 2004 ; Métral et al., 2012 ; Petit-Delecourt, 2018 ; Vyas & Bajpai, 2016). Des transformations ont déjà été enclenchées (Gramond, 2016), poussées par des éléments contextuels au niveau national, européen et mondial. Nous en retiendrons ici 3 :

(1) Le développement de nouvelles exigences sociétales (Compagnon & Cerf, 2000) en termes de sécurité alimentaire et de développement durable. La qualité des produits devient une préoccupation pour le consommateur, dorénavant envisagé comme un consomm-acteur. Cette préoccupation se concrétise par un désir accru de transparence et de traçabilité dans la chaîne agro-alimentaire qui a souffert de plusieurs scandales (Isaac & Pouyat, 2015) : lait contaminé aux Salmonelles (2017), lasagnes à la viande de cheval (2013), maladie de la vache folle (1996) etc. Par ailleurs, le mouvement écologiste se constitue dès les années 1960, notamment avec la création d'Organisations Non Gouvernementales telles que WWF (en 1961) et Greenpeace (en 1971). La protection de l'environnement et plus généralement le développement durable, sont des enjeux majeurs (Cazals, 2009 ; Béguin & Pueyo, 2011) depuis la deuxième moitié des années 1990.

(2) L'évolution des cadres réglementaires et législatifs. Depuis le début des années 1990, les mesures prolifèrent : directive CEE 80-778 sur la qualité de l'eau potable, directive 91/414/CEE sur les Autorisations de Mise sur le Marché (AMM) des pesticides, directive Cadre sur l'eau 2000/60/CEE etc. Plusieurs pays d'Europe ont déjà engagé des politiques chiffrées de réduction des produits phytosanitaires tels que la Suède (1986), les Pays-Bas (1991) et la Norvège (1998) (Aubertot et al., 2005). Les lois, les contrôles (Guizard, 2015) et les programmes se multiplient avec, par exemple, des procédures d'autorisation des pesticides plus strictes, la taxe sur les antiparasitaires à usage agricole introduite en 2000 (Aujas et al., 2011) ou les plans Ecophyto (Métral et al., 2012). Des systèmes de certifications sont mis en place pour valoriser les produits issus de pratiques économes en intrants (Aujas et al., 2011). Aussi, les Etats Généraux de l'Alimentation, qui se sont déroulés en France au mois de juillet 2017, constituent un virage important dans la politique agroalimentaire française. Cet événement débouche sur un ensemble de lois et d'orientations politiques qui pourraient profondément transformer l'agriculture.

(3) Le changement climatique dont les effets sur l'agriculture sont désormais observés (Moreiro, 2017). Isaac & Pouyat (2015) soulignent que ce bouleversement induit une chute des rendements agricoles de 2% à chaque décennie.

Si les problèmes sont identifiés, les pistes de transformations restent à construire (Valdivieso Larrain, 2012), pour définir « ce que devrait être la production agricole » (Léméry, 2003, p10). Les outils d'accompagnement de ces nouvelles façons de produire sont à paramétrer (Aubertot et al., 2005) pour permettre aux agriculteurs non pas de s'adapter mais d'inventer de

nouvelles pratiques (Léméry, 2011). Ce défi majeur est prégnant en viticulture, domaine complexe particulièrement marqué par le poids de la tradition (Métral et al., 2012).

3.2. Des pistes de transformation pour l'agriculture

Parmi les nombreuses voies possibles pour transformer les pratiques agricoles, en particulier l'usage des produits phytosanitaires (Aubertot et al., 2005 ; Cazals, 2009), trois pistes sont en lien direct avec ce travail de thèse :

(1) Supprimer l'utilisation de produits phytosanitaires en développant des alternatives. Ces alternatives concernent la gestion des adventices : travail du sol, utilisation de paillis, désherbage mécanique/manuel/thermique etc. (Aubertot et al., 2005 ; Guillou et al., 2013). Elles portent également sur la gestion des bioagresseurs : gestion des auxiliaires, introduction de typhlodromes contre les acariens (Mezière & Gary, 2009), confusion sexuelle contre les vers de grappe, choix de variété résistantes etc. La suppression peut ne concerner que les produits chimiques de synthèse, comme c'est le cas en Agriculture Biologique (12% des parcelles viticoles françaises en 2018 selon l'Agence Bio).

(2) Améliorer l'application des produits phytosanitaires, en optimisant la pulvérisation et en limitant la dispersion des produits dans les systèmes eau/air/sol : qualité et réglage du pulvérisateur, dispositifs anti-dérive, ajout d'adjuvants, développement de haies/couverts végétaux/résidus de culture sur sol...

(3) Développer la prise de décision de l'agriculteur pour intervenir sur la parcelle. Réduire les conséquences négatives de l'usage des produits phytosanitaires peut se matérialiser par le développement de ce « choix tactique » (Aujas et al., 2011) : faut-il intervenir ? Si oui, comment et quand ? Ainsi le choix stratégique a pour objectif d'optimiser les volumes d'intrants (réduction de la fréquence de traitements ou des doses appliquées), de limiter les phénomènes de résistance des bioagresseurs aux pesticides, d'éviter les transferts de produits et de minimiser l'impact environnemental et sanitaire des produits phytosanitaires (Aubertot et al., 2005 ; Mezière & Gary, 2009 ; Moreira, 2017). Le choix stratégique débute par une meilleure évaluation du risque pour la culture (Carpentier, 1996), notamment par le dépistage de l'infestation (Aubertot et al., 2005). Il se poursuit par le choix du produit, en essayant de privilégier les produits biologiques (Deléage, 2011) et ceux à faible impact environnemental (Règlement (CE) N° 834/2007 relatif à la production biologique et à l'étiquetage des produits

biologiques, 2007). Enfin, il se concrétise dans le positionnement de l'intervention, c'est-à-dire le moment de cette intervention. Le choix tactique d'intervenir doit être fondé sur des données objectives, mesurées dans un contexte précis (Aubertot et al., 2005 ; Moreiro, 2017), qui deviendront information pour l'agriculteur. En effet, l'utilisation de l'information tend effectivement à diminuer l'usage des produits phytosanitaires (Carpentier, 1996). Il s'agit de permettre la transition d'une agriculture intensive en intrants à une agriculture intensive en informations (Aujas et al., 2011) pour assurer une meilleure gestion des interventions phytosanitaires (Mezière & Gary, 2009). Ce passage vers une agriculture intensive en information passe par l'acquisition de l'information et son exploitation. Deux moyens apparaissent alors comme de puissants moteurs du changement des pratiques agricoles : le conseil agricole et les technologies (Cerf & Hemidy, 1999 ; Cerf & Magne, 2007 ; Eastwood et al., 2013 ; Filippi et Frey, 2015 ; Isaac et Pouyat, 2015 ; Jourdan, 1990 ; Moreiro, 2017 ; Tey & Brindal, 2012 ; Van den Ban, 1998 ; Villemaine, 2013).

3.2.1. Le conseil agricole

Dès sa création, le conseil agricole est perçu comme un moyen pour transformer les pratiques des agriculteurs (Brissaud, 2003 ; Guillot et al., 2013). Il permet d'abord aux agriculteurs de suivre les évolutions techniques et réglementaires, notamment dans le domaine phytosanitaire, par l'apport de connaissances. Les producteurs déclarent souvent mal connaître les pesticides et leur usage. Le conseil peut également soutenir la transformation, vers une agriculture intensive en information, en déchargeant les agriculteurs dans la production de cette information (Aujas et al., 2011). Enfin, le conseil apporte un soutien pour le raisonnement sur les interventions agronomiques dans les parcelles. Les pays qui ont réduit l'utilisation des pesticides, comme le Danemark, ont notamment misé sur le conseil (Aubertot et al., 2005). S'il est un véritable facteur d'innovation en agriculture, le conseil agricole est cependant peu étudié (Desjeux et al., 2009).

En Europe, le conseil agricole est « un instrument majeur des politiques de modernisation » depuis la fin de la Seconde Guerre Mondiale. A ses débuts dans les années 1950, il est géré et financé par les Etats, qui se désengagent peu à peu (Labarthe et al., 2013). Le secteur devient de plus en plus concurrentiel et libéralisé (Villemaine, 2013). En France, parmi les nombreux acteurs impliqués dans le conseil aux agriculteurs (chambres d'agriculture,

instituts techniques, fournisseurs d'intrants, conseillers indépendants, organismes de recherche, syndicats...), les coopératives ont une influence marquée (Filippi et Frey, 2015).

Le prix et les services proposés sont très divers d'une coopérative à une autre (Filippi & Frey, 2015). Toutefois, se dégagent 4 tendances majeures, que l'on retrouve dans la prestation de conseil proposée par la coopérative du projet VitiOptimum. Tout d'abord, les prestations payantes et personnalisées se développent (Cerf & Meynard, 2006). Le conseil individuel serait plus recherché par les agriculteurs (Jourdan, 1990). La tarification est un moyen d'assurer la durabilité économique des coopératives. Cet enjeu est particulièrement fort car ces structures devront choisir, à partir de 2021, entre la vente d'intrants (source de revenu historique) et la vente de conseil. Ensuite, la dimension participative du conseil prend de l'importance. Pour produire des conseils plus spécifiques, moins prédéfinis (Desjeux et al., 2009) et être au plus proche des attentes des adhérents, la co-construction entre conseiller et agriculteur apparaît comme nécessaire (Cerf & Hemidy, 1999 ; Guillot et al., 2013). Par ailleurs, le conseil agricole coopératif se transforme profondément avec la prise en compte de plus en plus marquée des enjeux environnementaux, au-delà des logiques économiques et commerciales (Compagnon et Cerf, 2000 ; Villemaine, 2013). Enfin, le conseil connaît une profonde numérisation, tout comme la filière agricole dans sa globalité. Les coopératives introduisent, de façon croissante, les technologies numériques dans leurs activités de conseil (Isaac et Pouyat, 2015).

3.2.2. Les technologies en milieu agricole

Les technologies numériques désignent des outils anthropotechniques modernes et complexes, tant matériels que logiciels, qui soutiennent :

- l'accès à l'information : élaboration de l'information par l'utilisateur/par le système, réception depuis un autre utilisateur...

- l'usage de l'information : gérer, analyser, présenter, stocker...

- la circulation de l'information : échange entre utilisateurs, envoi vers d'autres objets...

(Bobillier Chaumon, 2013 ; Gomez & Chevalet, 2011 ; Noy & Ruiz, 2007 ; Rabardel, 1995).

Les informations sont généralement multimédia : textes, sons, images, vidéo... (Govaere, 2002). Les technologies numériques sont connectées à un réseau (Internet, Internet mobile, Intranet, réseaux téléphoniques etc.) et peuvent être géolocalisées. Ces outils sont fixes, mobiles ou embarqués (sur une machine, sur l'utilisateur, sur un animal, sur une plante etc.). La grande diversité des technologies numériques se retrouve dans le domaine agricole. De façon générale,

la classification de ces systèmes n'est pas aisée (Alexandre et al., 2018). En agriculture, on retrouve 5 grandes catégories de technologies, souvent utilisées de façon combinée (De Rudnicki et al., 2009 ; Tisseyre et al., 2007) :

(1) les logiciels. Ces ensembles de programmes informatiques se déploient dans une variété de dispositifs. Par exemple, les Outils d'Aide à la Décision (OAD) peuvent fournir des règles de déclenchement du traitement en fonction de différents paramètres : seuil de nuisibilité, conditions météorologiques, observations (Aubertot et al., 2005 ; Mezière & Gary, 2009 ; Rossi et al., 2014). Les Systèmes d'Information Géographique (SIG) permettent une visualisation de données associée à de l'information géographique : cartographies de vigueur, de rendement, de maturité etc. (Moreiro, 2017 ; Primicerio et al., 2012). Les applications mobiles sur smartphone sont en pleine expansion (Filippi et Frey, 2015).

(2) les capteurs et l'imagerie (satellite et aérienne). De nombreuses mesures peuvent être réalisées : géolocalisation, rendement d'une récolte, température, taux d'humidité, pH, teneur en éléments minéraux du sol, taux de sucre et d'acidité des raisins, statut hydrique de la vigne, vigueur de la vigne etc. (Lamb et al., 2008 ; Moreiro, 2017 ; Oliveira et al., 2016 ; Tey & Brindal, 2012 ; Tisseyre, 2014)

(3) les machines et robots : pulvérisateurs à débit variable, robot de désherbage, systèmes d'irrigation, drones, pièges connectés etc. (Ambrosio et al., 2006 ; Diofantos et al., 2010 ; Matese et al., 2016 ; Proffitt & Winter, 2008)

(4) les technologies wearables, directement portées par l'utilisateur : par exemple, des lunettes connectées pour compter des parasites (Isaac & Pouyat, 2015) ou estimer, de façon non destructive, la quantité de chlorophylle dans une plante (Cortazar et al., 2015).

Ce travail de thèse se concentre sur la conception de 4 technologies : un SIG, une application téléphonique, un piège connecté et des lunettes connectées.

Ces technologies permettent d'apporter de l'information géolocalisée (Guizard, 2015). Par exemple, l'agriculteur peut connaître la quantité de produit phytosanitaire reçue par la vigne (Gil et al., 2014) ou le rendement réel au cours de la vendange (Tey & Brindal, 2012). De plus, les technologies aident au traitement de l'information avec des fonctionnalités d'interprétation, d'organisation, de visualisation ou d'intégration de différentes données (Rossi et al., 2014). Elles peuvent par exemple proposer des conseils, des pistes d'action (Isaac & Pouyat, 2015) ou des règles de décision etc. (Mezière & Gary, 2009) en matière d'interventions culturales. Enfin, les technologies permettent les échanges d'informations entre acteurs agricoles, notamment

entre un conseiller et un producteur. Globalement, les technologies contribuent à augmenter les capacités de gestion informationnelle de l'individu (Bobillier Chaumon, 2013) ce qui en fait des moteurs du passage d'une agriculture intensive en intrants à une agriculture intensive en informations. Le potentiel des technologies pour transformer les pratiques agricoles se concrétisent dans un certain nombre de recherches. Par exemple, Isaac et Pouyat (2015) rapportent une diminution de 20% de l'utilisation d'intrants par des viticulteurs espagnols utilisant différents capteurs. Mezière et Gary (2009) soulignent que l'utilisation d'un OAD pour décider des traitements du mildiou pendant 3 ans, a mené à la réduction de 30% de l'IFT mildiou dans un vignoble bordelais. Gil et collaborateurs (2014) prennent l'exemple de l'utilisation d'un OAD, pour les traitements phytosanitaires de la vigne, ayant mené à la réduction de 53 % de l'usage des pesticides comparé à une pratique conventionnelle. Permettre le plein développement des nouvelles technologies dans l'agriculture est une des trois priorités présentées par Bournigal et collaborateurs (2015) dans leur rapport pour le développement d'une agriculture compétitive et respectueuse de l'environnement. Les technologies agricoles sont perçues comme de puissants outils pour le développement durable (Ambrosio et al., 2006 ; Cunha et al., 2010 ; Lamb et al., 2008 ; Moreira, 2017 ; Terrade et al., 2009 ; Tisseyre, 2014).

Ce potentiel des technologies a favorisé leur essor. Démarré dans les années 1980 (Rossi et al., 2014), d'abord en grandes cultures, arboriculture et viticulture (Eastwood et al., 2013), le développement technologique s'étend maintenant à toutes les productions agricoles pour tous les modes de production (agriculture biologique, conventionnelle etc.). Les difficultés économiques (cf. III. 3.1) poussent les agriculteurs à se tourner vers la modernisation technique et technologique (Jourdan, 1990). La numérisation est en pleine explosion depuis une quinzaine d'années (Tisseyre et al., 2007) et devrait s'accroître durant la prochaine décennie. L'agriculture est dans sa 3^{ème} révolution, celle du numérique (Isaac et Pouyat, 2015). La transition technologique doit soutenir la transition agroécologique pour déployer l'agriculture 4.0.

Cependant, l'adoption de ces technologies par les utilisateurs finaux (agriculteurs, conseillers etc.) est faible et lente, comme le soulignent plusieurs travaux (voir par exemple Akudugu et al., 2012 ; Eastwood et al., 2013 ; Flett et al., 2004 ; Muzari, 2016 ; Rossi et al., 2014 ; Tey & Brindal, 2012 ; Tisseyre et al., 2007, Tisseyre, 2014). Comme le résume Lamb et collaborateurs (2008) : « L'adoption n'est pas aussi bonne que ce qu'elle pourrait/devoir être

car les paradigmes, bien connus, de l'adoption des technologies ne sont pas suffisamment pris en compte » (Lamb et al., 2008 ; p.4 ; notre traduction).

Pour transformer les pratiques agricoles par l'usage des technologies, deux perspectives apparaissent comme fondamentales d'un point de vue de l'ergonomie :

(1) Il est indispensable de comprendre l'adoption technologique, c'est-à-dire les déterminants des situations d'usage des dispositifs anthropotechniques par l'Homme. Les 3 premières parties du cadre théorique qui suit sont axées sur cet objectif. Dans un premier temps, elle pose une définition de l'adoption technologique et du contexte des recherches sur cette thématique (cf. II.1). Dans un second temps, 6 modèles « classiques » de l'adoption technologique sont explicités (cf. II.2). Enfin, l'adoption technologique est envisagée à travers le concept d'activité (cf. II.3).

(2) Il est nécessaire d'agir pour favoriser l'adoption des technologies. La 4^{ième} et dernière partie du cadre théorique (cf. II.4) présente 4 actions ergonomiques : intervenir en conception, analyser l'activité des utilisateurs, tester les dispositifs techniques et simuler l'utilisation future des dispositifs. Ces 4 actions font l'objet d'une mise en application et d'une réflexion, dans le cadre du projet VitiOptimum.

PARTIE II : CADRE THEORIQUE

La partie II pose les bases théoriques de cette thèse. Elle se compose de 4 chapitres. Le chapitre 1 apporte une première définition de la notion d'adoption technologique (cf. [II.1.1](#)), ainsi que le contexte de son étude par différentes disciplines (cf. [II.1.2](#)). Le chapitre 2 propose une présentation et une analyse de 6 modèles théoriques de l'adoption technologique : la théorie de la diffusion de l'innovation (ou IDT, cf. [II.2.1](#)), la théorie du Comportement Planifié (ou TPB, cf. [II.2.2](#)), les modèles de l'ingénierie de l'utilisabilité (cf. [II.2.3](#)), les Technology Acceptance Models (ou TAM, cf. [II.2.4](#)), la Unified Theory of Acceptance and Use of Technology (ou UTAUT, cf. [II.2.5](#)) et le modèle du Succès des Systèmes d'Information (ou ISSM, cf. [II.2.6](#)). Une synthèse de ces modèles conclue le chapitre 2 (cf. [II.2.7](#)). Le chapitre 3 appréhende l'adoption technologique au prisme du concept d'activité. Trois approches sont alors exposées (cf. [II.3.2](#)) : l'approche instrumentale, la technosymbiose et l'acceptation située. Elles présentent des points communs dont 4 nous semblent centraux (cf. [II.3.3](#)). Les chapitres 2 et 3 soutiennent la volonté de l'ergonomie de comprendre les situations d'utilisation des technologies. Le chapitre 4 est tourné vers la transformation. Il fournit les bases théoriques de 4 actions ergonomiques: analyser l'activité des utilisateurs (cf. [II.4.1](#)), intervenir en conception (cf. [II.4.2](#)), simuler l'utilisation future des systèmes (cf. [II.4.3](#)) et tester l'acceptabilité des technologies (cf. [II.4.4](#)). Enfin, le chapitre 5 ouvre sur la problématique de recherche et la démarche globale de recherche (cf. [II.5](#)).

1. Introduction aux modèles de l'adoption technologique

1.1. Une première définition de l'adoption technologique

L'adoption est communément définie comme l'action d'adopter (Larousse en ligne, 2020). Cette définition interroge 4 sphères distinctes. Tout d'abord, le rôle de l'individu dans la décision d'adopter. L'adoption peut renvoyer à une utilisation subie (adopter envisagé comme admettre, concéder) ou volontaire (adopter envisagé comme choisir). Ensuite, l'intégration de l'adoption dans un milieu, c'est-à-dire un contexte et des situations d'usage (Barcenilla & Bastien, 2009). Puis, l'inscription de l'adoption dans le temps, en termes de fréquence (adopter envisagé comme user régulièrement) et de durée (adopter envisagé comme continuer d'utiliser). Enfin, l'intensité de la liaison individu-objet, qui peut être d'une intensité faible (adopter c'est admettre, c'est-à-dire tolérer) ou forte (adopter c'est faire sien, s'approprier).

Dans la littérature scientifique, l'adoption technologique est classiquement envisagée à travers trois concepts : l'acceptabilité, l'acceptation et l'appropriation (Cippelletti, 2017). Ces trois concepts sont respectivement mobilisés au cours des trois étapes de « la trajectoire d'usage » (Quiguer, 2013). L'acceptabilité, d'abord, est étudiée avant utilisation effective de la technologie, c'est-à-dire en amont de son implantation (Alexandre et al., 2018 ; Reerink-Boulanger, 2012). L'objet d'étude est la potentialité de l'utilisation. Se pose d'abord la question de savoir si la technologie sera effectivement utilisée. On s'intéresse alors aux intentions d'usage que la technologie suscite (Deconde, 2009) chez des utilisateurs éventuels. Dans le cas où l'anticipation prévoit un usage du dispositif, les questions portent sur la réalisation de cet usage potentiel, par des utilisateurs, dans un environnement donné. Il s'agit donc d'anticiper si la technologie sera utilisée, comment elle sera intégrée au contexte d'usage et comment les utilisateurs se l'approprieront (Barcenilla & Bastien, 2009). Pour Nielsen (1993), l'acceptabilité revêt une dimension sociale et une dimension pratique, opératoire. La dimension pratique considère schématiquement l'acceptabilité comme la résultante de l'utilité et de l'utilisabilité (Dejean & Nael, 2004). L'acceptabilité sociale renvoie aux représentations subjectives des individus (Loup-Escande et al., 2015), à leur perception à priori sur la valeur de la technologie (Février, 2011). Les approches les plus récentes de l'adoption tentent d'intégrer simultanément ces deux branches de l'acceptabilité dans leurs modèles théoriques (ex : Bobillier Chaumon, 2016 ; Brangier et al., 2010).

L'acceptation, elle, est étudiée lors des premières interactions entre l'utilisateur et le système (Reerink-Boulanger, 2012). Il ne s'agit plus de prédire une utilisation éventuelle mais de comprendre son usage effectif par l'individu (Sagnier et al., 2017). L'acceptation peut donc se manifester par l'utilisation effective de la technologie (Davis, 1989 ; Rogers, 1995). Pour Diard (2019), l'acceptation correspond à l'intérêt et à légitimation que l'utilisateur porte au système. Enfin, l'appropriation s'inscrit dans un usage à plus long terme de la technologie. Elle est parfois considérée comme « l'étape ultime » de l'adoption. En effet, elle correspond à une maîtrise cognitive et technique d'un dispositif adapté aux valeurs personnelles et à la culture de l'utilisateur (Duthoit & Mailles-Viard Metz, 2012). L'appropriation se manifeste par une envie d'utiliser au-delà du caractère éventuellement forcé de l'usage (Barcenilla & Bastien, 2009 ; Sagnier et al., 2017). Elle est souvent appréhendée comme l'évolution de l'utilisateur (ex : acquisition des compétences nécessaires à l'utilisation, développement de nouveaux schèmes

d'utilisation) accompagnée d'une transformation du dispositif (Bages, 1992 ; Moreiro, 2017 ; Lassalle et al., 2016 ; Rabardel, 1995).

Acceptabilité, acceptation et appropriation sont des concepts plus ou moins distincts en fonction des auteurs et des modèles théoriques. Ces trois concepts fondent l'adoption technologique (Sagnier et al., 2019). L'adoption peut ainsi être employée pour traiter de l'ensemble du processus, des phases précédant l'usage (activités de conception, et d'implantation) à l'utilisation concrète et effective de la technologie (activités d'usage/d'utilisation) (Bobillier Chaumon, 2013 ; Debbabi, 2014 ; Rabardel, 1995).

Les modèles théoriques de l'adoption technologique essaient, d'une part, de répertorier et de tester les facteurs de l'utilisation d'une technologie (Février et al., 2008), et d'autre part, de prédire l'usage potentiel et de comprendre l'usage effectif. Un rapide détour par le contexte de l'étude de l'adoption technologique (cf. II.1.2) permet de comprendre l'émergence de ces modèles, présentés dans la section II.2.

1.2. Contexte de l'étude de l'adoption technologique

Les questions de rapports entre Homme et artefacts anthropotechniques sont anciennes. Elles ne datent pas de notre époque de « nouvelles technologies » (Rabardel, 1995). Cependant, les recherches sur l'adoption technologique ont connu un fort regain depuis les années 1960 avec le début de l'informatisation (Baudet & Lebraty, 2018 ; Jawadi, 2014) pour être au centre de l'attention depuis un quart de siècle (Isaac et al., 2006).

Le développement de la recherche sur l'adoption technologique peut notamment s'expliquer par 3 principales raisons : les promesses portées par les technologies, leur développement massif et les problèmes d'adoption constatés.

En effet, les technologies ont longtemps été considérées comme supposées bénéfiques (Walsh et al., 2018), en particulier les Technologies de l'Information et de la Communication (TIC). Ces technologies seraient ludiques, favoriseraient les apprentissages, n'entraîneraient pas d'effort physique (contrairement aux technologies de l'ère industrielle). Ainsi, les technologies seraient facilement appropriables par les utilisateurs et favorables à leur bien-être (Gomez & Chevalet, 2011 ; Klein & Govaere, 2012). Les technologies amélioreraient la productivité du travail ce qui en feraient des sources de progrès pour l'organisation et de façon plus globale

pour la performance de l'entreprise (Jawadi, 2014 ; Quiguer, 2013 ; Zain et al., 2005). Pour Davis (1989), les TIC ont le potentiel pour augmenter la performance des cadres. Les technologies soutiendraient le développement économique et social à l'échelle d'un pays (Caneva, 2019). Ainsi l'information digitalisée est présentée comme une ressource économique et stratégique (Barera et al., 2017). Par conséquent, de nombreux modèles théoriques portent une vision positive de la technologie, minimisant voire occultant les potentiels effets négatifs de l'utilisation.

Ces qualités présumées des technologies ont contribué à leur forte diffusion. L'innovation technologique connaît un nouvel âge d'or (Achi & Salinesi, 2015 ; Petter et al., 2008 ; Walsh et al., 2018). Les technologies sont devenues incontournables dans tous les domaines tels que l'éducation, la santé, le loisir, mais également dans l'industrie et l'agriculture (Isaac & Pouyat, 2015 ; Klein & Govaere, 2012 ; Molenje, 2019). Elles n'ont jamais autant été utilisées, engendrant de profondes transformations dans nos vies, tant professionnelles que privées (Darses, 2016 ; Martin, 2018). L'enjeu actuel n'est plus l'acquisition de la technologie mais son adoption (Barera et al., 2017 ; Jawadi, 2014) qui constitue un challenge important (Isaac et al., 2006). Comprendre les conditions d'adoption des technologies est essentiel pour la compétitivité et le développement de la société (Davis, 1989 ; Terrade et al., 2009).

Malgré le potentiel bénéfique des technologies, des échecs d'adoption sont constatés (De Benedittis & Benhayoun-Sadafiyyine, 2018 ; Khademi, 2016 ; Venkatesh & Bala, 2008). Le déploiement de technologies est cher et son taux de réussite reste faible (Legris et al., 2003). Les échecs des projets technologiques se manifestent de multiples façons (Bernoux & Gagnon, 2008 ; Quiguer, 2013), avec des conséquences économiques (dépassement des budgets), organisationnelles (délais dépassés, suspension ou annulation de projets), fonctionnelles (objectifs opérationnels non atteints, fonctionnalités souhaitées non effectives, difficultés de fonctionnement du système) et humaines (utilisateurs non satisfaits, climat social dégradé). Le déploiement technologique mène parfois au « paradoxe de productivité » (Venkatesh & Bala, 2008) : l'augmentation des investissements s'accompagne d'une diminution de la performance.

De très nombreux modèles ont été avancés pour expliciter l'adoption technologique (Bocquet & Brossard, 2008 ; De Benedittis & Benhayoun-Sadafiyyine, 2018 ; Groleau & Mayère, 2007). Le cadre de la thèse ne permettant pas une présentation exhaustive de l'ensemble, nous avons sélectionné 6 modèles « classiques » qui représentent, à notre sens, la diversité et l'évolution de ce concept depuis son émergence :

- la théorie de la diffusion de l'innovation, ou Innovation Diffusion Theory (IDT) (Rogers, 1962).
- la théorie du comportement planifié, ou Theory of Planned Behavior (TPB) (Ajzen, 1985)
- le technology acceptance model (TAM) (Davis, 1989) et ses dérivés (Venkatesh & Bala, 2008)
- Le modèle du succès des systèmes d'information, ou Information System Success Model (ISSM) (DeLone & McLean, 1992).
- les modèles de l'ingénierie de l'utilisabilité (Nielsen, 1993)
- le Unified Theory of Acceptance and Use of Technology (UTAUT) (Venkatesh et al., 2003)

Plusieurs classifications de ces modèles sont possibles (voir par exemple Cippelletti, 2017 ; Debbabi, 2014 ; Février, 2011 ; Hammes-Adelé, 2011, Martin, 2018 ; Pasquier, 2012 ; Poupon, 2017). Nous présentons les modèles avec une approche plus ou moins historique. Cette approche n'est pas simple non plus, les modèles ayant connu, depuis leur création, de longues périodes de développement avec des métamorphoses.

2. Les modèles « classiques » de l'adoption technologique

Ces 6 modèles « classiques » sont des appuis à la compréhension des situations d'usage des technologies. Ils constituent à en ce sens une ressource pour guider l'action en faveur de l'adoption technologique dans le cadre du projet VitiOptimum.

2.1. Théorie de la diffusion de l'innovation (Rogers, 1962)

2.1.1. Présentation du modèle

La théorie de la diffusion de l'innovation (Innovation Diffusion Theory ou IDT) est un cadre conceptuel relativement ancien mais toujours actif (cf. par exemple Caneva, 2019), développé par Rogers à partir des années 1960. C'est un appui théorique majeur dans la notion d'acceptation (Deconde, 2009).

Une innovation est définie comme une idée perçue comme nouvelle, qu'elle soit matérielle, comme une voiture ou un ordinateur, ou immatérielle comme une pratique ou une organisation (Kukafka et al., 2003). La diffusion est le processus par lequel l'innovation se répand parmi les membres d'un système social donné (Isaac et al., 2006). La vitesse de diffusion

est définie par le taux d'adoption (Rogers, 1995). Dans l'IDT, l'adoption est assimilée à la mise en œuvre concrète de l'innovation, c'est-à-dire à l'utilisation dans le cas d'une technologie.

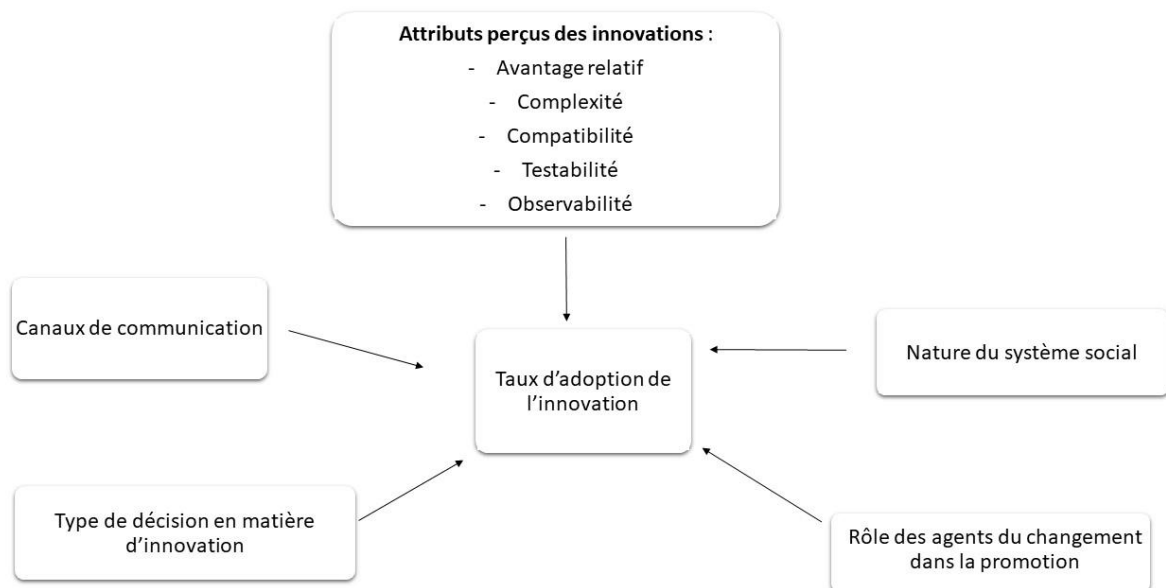


Figure 2 : Variables déterminants le taux d'adoption (d'après Rogers, 1995, p207)

Cinq grandes variables influencent ce taux d'adoption (Rogers, 1995, p207 ; cf. figure 2) :

- Le type de décision en matière d'innovation (optionnelle, collective, autoritaire)
- La nature des canaux de communication diffusant l'innovation à différentes étapes du processus (médias de masse, médias interpersonnels...)
- La nature du système social dans lequel l'innovation se diffuse (normes, degrés d'interconnexion dans le réseau...)
- Le rôle des agents du changement dans la promotion de l'innovation
- Les 5 attributs perçus de l'innovation : avantage relatif, complexité, compatibilité, testabilité, observabilité.

Les 5 attributs perçus de l'innovation ont un impact majeur. Ils expliquent à eux-seuls entre 49 à 87 % de la variance du taux d'adoption. Ils retiennent donc souvent l'attention dans l'analyse de cette théorie. Ils renvoient à la perception des adoptants potentiels (utilisateurs dans notre cas) sur les caractéristiques de l'innovation. Il ne s'agit pas des caractéristiques réelles ou de leur perception par les experts et les agents du changement. Ces 5 attributs peuvent renfermer des variables plus fines appelées « sous-dimensions » (Rogers, 1995). Les attributs de

l'innovation font écho aux études en IHM (Interaction Homme-Machine), en particulier les trois plus importants : l'avantage relatif, la comptabilité et la complexité (Deconde, 2009).

L'avantage relatif est le degré avec lequel une innovation est perçue, par l'individu, comme meilleure par rapport à la situation précédente. Rogers (1995) envisage cet avantage principalement sur le versant économique (ex : rentabilité économique, prix plus bas) et social (gain de statut social). Cependant, il souligne que ce facteur est à préciser selon le cas d'application du modèle (nature de l'innovation, caractéristiques des adoptants potentiels etc.). Ainsi il envisage également d'autres avantages comme la réduction de l'inconfort, l'économie de temps ou d'effort, l'immédiateté de la récompense, la réduction de l'incertitude ou du risque. L'avantage relatif perçu est un prédicateur fort de l'adoption, à laquelle il est positivement corrélé (Rogers, 1995).

La compatibilité est le degré avec lequel une innovation est perçue comme cohérente avec les valeurs existantes, les expériences passées et les besoins des potentiels adoptants. Les besoins peuvent être exprimés ou découverts par les agents du changement. Ces trois aspects (valeur, expériences et besoins) sont relatifs à la situation de vie de l'individu (Rogers, 1995, p224). L'IDT considère donc l'individu comme membre d'un système social, porteur de croyances, d'idées et d'une culture. L'IDT intègre en partie la dimension temporelle de l'adoption, en tenant compte des expériences passées. La compatibilité est positivement corrélée à l'adoption (Rogers, 1995).

La complexité est le degré avec lequel une innovation est perçue comme relativement difficile à comprendre et à utiliser. La complexité est négativement corrélée au taux d'adoption. Plus une innovation est simple à apprendre, à comprendre et à utiliser, plus son adoption est rapide. Cet attribut est en lien direct avec les caractéristiques de l'individu, par exemple son niveau d'expertise (Rogers, 1995). Dans cette définition, la complexité porte à la fois sur l'apprentissage du fonctionnement de l'innovation et sur la simplicité d'utilisation.

L'observabilité est décrite par Rogers (1995) comme la visibilité des résultats de l'innovation par les individus autres que l'adoptant potentiel. Ainsi, plus une innovation a des résultats facilement observables et communicables, plus son adoption sera rapide.

La testabilité est le degré avec lequel une innovation peut être expérimentée. L'essai permet de donner de la signification et réduire l'incertitude. La testabilité est reliée positivement au taux d'adoption (Rogers, 1995).

Pour illustrer les 5 attributs, l'auteur prend l'exemple de la diffusion du téléphone portable chez les cadres masculins au début des années 1980. Le système est d'abord implanté dans les voitures puis il s'étend jusque dans les poches des adoptants grâce à la réduction de son prix et de sa taille. Une des caractéristiques principales de cette technologie est que son usage n'est pas limité à un endroit fixe comme le téléphone classique, régulier. Ainsi les cadres, qui passent beaucoup de temps dans les bouchons sur la route, peuvent éviter les rendez-vous manqués et les retards. L'avantage relatif de l'innovation est donc un bénéfice en termes de gestion du temps. De plus, le téléphone portable est associé à un statut social élevé à cette époque. Le dispositif possède un haut niveau de compatibilité. D'une part, il permet de joindre une personne sur un téléphone classique. D'autre part, il ne requiert pas de formation spécifique pour les cadres. L'innovation est peu complexe dans la mesure où son utilisation est très similaire à celle du téléphone régulier. L'utilisation ostentatoire du système par les cadres dans les lieux publics leur permet de montrer leur statut et d'être visibles par des clients potentiels. L'observabilité du dispositif est donc forte. A cette époque, une entreprise californienne va même jusqu'à vendre des répliques non fonctionnels pour une quinzaine de dollars ! Enfin, la testabilité du téléphone portable est élevée. Il est possible d'emprunter l'objet à un ami/collègue pour l'essayer. De plus, les voitures de location de l'époque sont souvent équipées de cette innovation.

2.1.2. Critique du modèle

L'IDT a fourni des apports considérables. Nous en retiendrons ici 2 principaux. D'abord, c'est un des premiers modèles à focaliser l'adoption sur la dimension humaine, critiquant le déterminisme technologique dur, dès le début des années 1960. Cette théorie fait de la perception humaine le facteur majeur de l'adoption. De plus, en soulignant que ce sont les perceptions des adoptants qui comptent, et non celles des agents du changement par exemple, Rogers centre les débats sur les utilisateurs. Enfin, l'IDT est un modèle relativement simple (5 facteurs ayant un rôle central), très utilisé (Hammes-Adelé, 2011) et validé dans de nombreuses études, plutôt portées sur des technologies simples comme des applications bureautiques (Isaac et al., 2006).

Toutefois, l'IDT présente des faiblesses. Deux limites importantes peuvent être retenues. Premièrement, l'IDT est critiquée pour son côté pro-innovation. Les explications sur les échecs d'adoption sont peu considérées (Hammes-Adelé, 2011 ; Isaac et al., 2006).

Deuxièmement, l'IDT aplatit très fortement la complexité du phénomène de l'adoption. D'une part, la théorie omet les phénomènes d'appropriation comme l'évolution de la technologie dans l'usage et le rôle actif de l'utilisateur (Hammes-Adelé, 2011). D'autre part, la modélisation de l'adoption est linéaire, ignorant l'effet rétroactif de l'usage sur l'acceptation (Sagnier et al., 2019).

2.2. Théorie du Comportement Planifié (Ajzen, 1985)

2.2.1. Présentation du modèle

En 1985, Ajzen propose la Théorie du Comportement Planifié, ou Theory of Planned Behavior (TPB). Ce modèle est une extension de la Théorie de l'Action de Raisonnée, ou Theory of Reasoned Action (TRA), développée par Fishbein et Ajzen en 1975 (Ajzen, 1985). C'est un modèle important car il a servi de base à d'autres théories sur l'adoption technologique (ex : TAM 2 et 3, UTAUT).

La TPB se base sur 4 niveaux (cf. figure 3) pour prédire/expliciter la tentative de réalisation d'un comportement par un individu. La tentative de réalisation du comportement (niveau 1) dépend des intentions liées à cette tentative (niveau 2). Ces intentions sont déterminées par les 3 paramètres (niveau 3) que sont l'attitude, la norme subjective et le contrôle comportemental perçu. Ces 3 paramètres sont influencés par des croyances qui constituent le niveau 4.

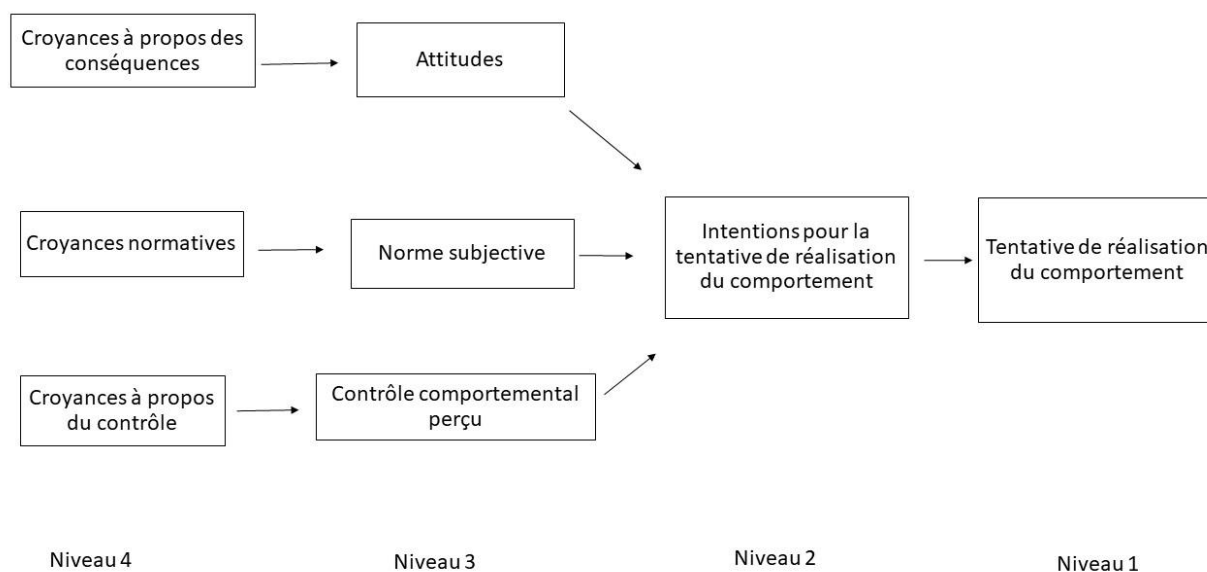


Figure 3 : Theory of Planned Behavior (d'après Ajzen, 1985)

La tentative de réalisation d'un comportement est parfois raccourcie par le terme comportement. Pourtant, Ajzen (1985) souligne bien que la théorie explique précisément la tentative d'exécution d'un comportement. Par exemple, pour l'arrêt du tabac, la sortie du modèle n'est pas exactement de cesser de fumer mais bien d'essayer de cesser. De très divers comportements ont été étudiés : prendre une pilule contraceptive, donner son sang, voter pour un candidat etc. (Ajzen, 1985). Appliqué à l'adoption technologique, le comportement est l'utilisation d'un système. Le comportement réalisé peut être observé ou étudié par des questionnaires.

Les intentions sont des instructions que l'individu se donne à lui-même (Terrade et al., 2009). Elles représentent les velléités pour essayer de réaliser un comportement. Cette variable est le prédicateur principal du comportement qui sera tenté par l'individu. C'est le niveau 2 du modèle. Les intentions ont trois déterminants : l'attitude, la norme subjective et le contrôle perçu (Ajzen, 1985) :

- **L'attitude** correspond à une évaluation subjective, positive ou négative, quant à l'exécution du comportement. C'est donc un déterminant personnel. L'attitude concerne le comportement en lui-même. Elle n'est pas relative aux objets, aux gens ou aux institutions. L'attitude est élaborée pour les deux scénarios : le comportement est effectivement exécuté – le

comportement échoue à être réalisé. L'attitude est donc pondérée par les probabilités subjectives d'échec et de succès dans la réalisation du comportement.

- **La norme subjective** reflète l'influence sociale. Elle correspond à la perception d'un individu, sur les opinions de personnes référentes, à propos du comportement. Les référents ne sont pas explicitement définis. Ce sont les personnes dont l'avis a de l'importance pour un individu, comme par exemple les parents, les amis, les supérieurs hiérarchiques etc. (Février, 2011 ; Reerink-Boulanger, 2012).

- **Le contrôle perçu** traduit le degré selon lequel l'individu est apte à maîtriser les facteurs, internes (compétences, capacités, volonté etc.) et externes (facteurs situationnels tels que les informations nécessaires, le temps disponible ou l'opportunité pour réaliser le comportement), qui peuvent interférer dans l'exécution de l'action prévue. C'est par l'intégration de ce facteur que la Theory of Reasoned Action (TRA) devient la Theory of Planned Behavior (TPB). Quand les facteurs internes et externes ont une influence négligeable sur le contrôle perçu, le comportement est considéré comme étant sous contrôle volontaire. Dans ce cas, il peut être prédit et expliqué selon la TRA. Quand les facteurs internes et externes ont une influence significative sur le contrôle perçu, il faut mobiliser la TPB. Le contrôle perçu est similaire à l'auto-efficacité de Bandura (1977, 1982) (Ajzen, 1985). Il englobe la perception des ressources et des conditions facilitant l'utilisation de la technologie (Compeau et al., 1999).

Ce niveau 3 (attitudes, norme subjective, contrôle comportemental perçu) est lui-même déterminé par des croyances (niveau 4) :

- **Les croyances à propos des conséquences**, ou croyances attitudinales, conditionnent l'attitude. Ces croyances sont des évaluations des résultats du comportement. Par exemple, pour le comportement « adopter un régime faible en sel », les croyances attitudinales peuvent être : réduction de la pression sanguine, changement dans le style de vie, réduction des aliments autorisés etc. Ces évaluations sont pondérées par la probabilité subjective de l'association comportement-résultats. Plus les résultats sont perçus comme positifs et probables à l'issue du comportement, plus l'attitude envers le comportement sera positive (Ajzen, 1985).

- **Les croyances normatives** sont les croyances d'un individu à propos de l'influence sociale (Ajzen, 1985). Ce sont les croyances sur le niveau d'approbation des personnes référentes à propos du comportement (Kukafka et al., 2003).

- **Les croyances à propos du contrôle** déterminent la perception du contrôle comportemental par l'individu. Généralement, l'attribution de contrôle aux facteurs internes favorisent la tentative de réaliser le comportement (Ajzen, 1985).

2.2.2. Critique du modèle

La TPB présente plusieurs avantages. C'est un modèle relativement simple (Ajzen, 1985 ; Reerink-Boulanger, 2012). De plus, c'est un modèle qui a été validé dans beaucoup d'études, sur des comportements variés (Ajzen, 1985). Les trois facteurs centraux du cadre théorique (l'attitude envers le comportement, l'influence sociale et le contrôle perçu) ont été démontrés comme ayant de l'influence sur l'intention de tenter un comportement. On peut également ajouter que la TPB appréhende en partie la variabilité inter-individuelle. En effet, Ajzen (1985) y fait plusieurs allusions dans son chapitre From Intentions to Actions : A Theory of Planned Behavior. Il précise que les poids des facteurs attitudinal et normatif varient d'une personne à une autre. Il évoque l'importance des traits de personnalité dans la construction des croyances. On peut regretter que la variabilité intra-individuelle soit peu abordée dans la TPB.

Plusieurs critiques peuvent être adressées à la TPB. Des auteurs (ex : Ratten & Ratten, 2007 ; Reerink-Boulanger, 2012) rapportent un faible pouvoir prédictif du modèle. Si les trois facteurs centraux du modèle ont bien une influence, il existe toujours un décalage entre les usages attendus et les usages observés (Bobillier Chaumon, 2016). On peut en outre reprocher à la TPB sa modélisation linéaire, la tentative de comportement étant l'étape finale. L'influence mutuelle entre acceptation et usage d'une technologie (Sagnier et al., 2019) ne serait que partiellement représentée. Toutefois, cette critique est à modérer. En effet, Ajzen (1985) précise que les expériences passées influencent les perceptions, notamment celle du contrôle. Ainsi l'utilisation a un effet sur l'intention d'utiliser à nouveau bien que cette relation ne soit pas présentée explicitement dans le modèle. Aussi, la relation entre intention et tentative de comportement pose question. En effet, les intentions ne se concrétisent pas automatiquement en tentative d'exécution d'un comportement (Noy & Ruiz, 2007). Plusieurs modèles (ex : TAM, UTAUT) ont associé intentions et comportement. Néanmoins, ces modèles n'ont pas tous repris les précautions qu'Ajzen (1985) prend pour considérer cette relation. En effet, il souligne que plusieurs conditions doivent être réunies pour que la tentative de comportement découle de l'intention. La durée séparant la mesure de l'intention et l'observation du comportement doit être courte (plus elle est longue, plus la relation intention-comportement est faible). L'intensité

des intentions doit être évaluée (si elles sont faibles, elles sont moins prédictives). Enfin, Ajzen (1985) insiste sur le caractère multifactoriel et changeant des intentions qui peuvent être bouleversées par des imprévus, révisées par l'individu ou tout simplement abandonnées.

2.3. Modèles de l'acceptation des technologies (Davis, 1989)

2.3.1. Présentation du TAM

Le modèle de l'acceptation des technologies, ou Technology Acceptance Model (TAM), est développé par Davis en 1989, dans le champ du management des systèmes d'information. Ce cadre conceptuel s'appuie sur de nombreuses théories, dont l'IDT, les modèles de l'ingénierie de l'utilisabilité (Davis, 1989) et la TPB (Flett et al., 2004). C'est un des modèles les plus utilisés dans les recherches sur l'adoption technologique (Amadiou et al., 2019 ; Baudet & Lebraty, 2018 ; Kukafka et al., 2003).

Parmi les déterminants de l'utilisation des systèmes, les deux facteurs jugés les plus importants sont intégrés dans le TAM : **l'utilité perçue** et **la facilité d'utilisation perçue** (cf. figure 4). Ces deux facteurs expliquent l'utilisation par leur influence sur l'attitude, déterminant à son tour l'intention d'utiliser (Davis, 1989).

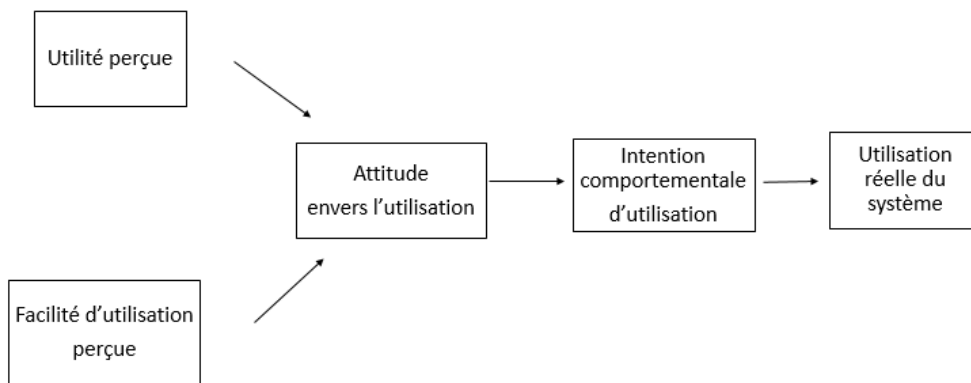


Figure 4 : Technology Acceptance Model (d'après Davis, 1989)

L'utilité perçue renvoie à la perception, de l'utilisateur, d'une amélioration de sa performance professionnelle. C'est une variable similaire au facteur avantage relatif de l'IDT. La perception de l'utilité est évaluée, par 6 items d'un questionnaire, en termes : de temps pour réaliser le travail, de performance du travail, de productivité, d'efficacité, de facilité dans la

réalisation du travail et d'utilité globale (Davis, 1989). L'utilité est le construit le plus important (Martin, 2018) puisqu'il explique à 50% l'intention d'utiliser (Alexandre et al., 2018) et donc l'utilisation.

La facilité d'utilisation renvoie à la perception, de l'utilisateur, d'un usage sans effort. C'est une variable très proche de celle de complexité dans l'IDT (cf. II.2.1). Elle est évaluée par 6 items qui concernent la facilité d'apprentissage, la contrôlabilité, la clarté (compréhensibilité), la flexibilité, la facilité à acquérir les compétences et la facilité globale d'utilisation (Davis, 1989).

2.3.2. Critique du TAM

Le TAM présente 2 avantages majeurs. C'est un modèle simple car l'adoption est expliquée par 2 facteurs (Hammes-Adelé, 2011 ; Martin, 2018). De plus, le TAM est un modèle robuste, validé dans de très nombreuses recherches (Baudet & Lebraty, 2018 ; Debue et al., 2013 ; Deconde, 2009 ; Février et al., 2008 ; Jawadi, 2014 ; King & He, 2006 ; Molenje, 2019). Grâce au TAM, il a pu être établi que les perceptions de l'utilisateur, quant à l'utilité et à la facilité d'utilisation du système, influencent l'adoption de ce système.

Cependant, on peut reprocher au TAM sa volonté de simplifier à l'extrême un phénomène aussi complexe que l'adoption technologique (Ratten & Ratten, 2007). C'est le revers de la médaille de sa simplicité (Baudet & Lebraty, 2018). Cette réduction extrême amène aux 2 limites adressées à l'IDT, au sujet de l'exclusion des phénomènes d'appropriation et d'une modélisation linéaire de l'adoption. Le TAM exclut les variables socio-organisationnelles dans le processus d'adoption (Arbelaez Garces, 2016 ; Bobillier Chaumon, 2013 ; Brangier et al., 2010 ; Quiguer, 2013 ; Reerink-Boulanger, 2012). Cette simplification très poussée entraîne une forte variabilité et disparité dans les résultats obtenus (Alexandre et al., 2018). Des résultats parfois opposés sont recensés dans la littérature (Legris et al., 2003). Le TAM n'explique « que » 40% de la variance entre intention individuelle et usage réel (Venkatesh & Bala, 2008). Le TAM a démontré sa pertinence pour certains cadres de recherche, concernant des technologies peu complexes (type logiciel de bureautique) pour des populations d'étudiants, en même temps que ses limites pour d'autres cadres de recherche, avec des technologies plus complexes, pour des populations de travailleurs en entreprise (Isaac et al., 2006 ; King & He, 2006 ; Wixom & Todd, 2005). Enfin, dans l'approche du TAM, l'intention d'utiliser entraîne l'utilisation. Pourtant, comme le soulignent Noy & Ruiz (2007), l'intention ne conduit pas

automatiquement à l'utilisation. Cette limite est commune à d'autres modèles théoriques basées sur l'intention (ex : TAM 2, TAM 3, UTAUT).

Pour améliorer le pouvoir prédictif du TAM, de nombreuses études ont repris le modèle en y ajoutant des variables relatives à l'organisation (caractère volontaire de l'usage, nature de la tâche, soutien à l'utilisation...), aux individus (genre, âge, niveau d'éducation, degré de formation, expérience, origine culturelle...) ou à l'artefact anthropotechnique (Brangier et al., 2010 ; Sagnier et al., 2019).

2.3.3. Présentation du TAM 2

En 2000, Venkatesh et Davis proposent le TAM 2 (cf. figure 5). Ce modèle reprend le TAM en ajoutant 5 facteurs de l'utilité perçue et deux variables modératrices (expérience et caractère volontaire de l'utilisation). Les antécédents de l'utilité perçue sont :

- **la norme subjective**, issue de la TPB (cf. II.2.2). Elle se définit comme le degré avec lequel un individu perçoit, que la plupart des gens importants pour lui, pense qu'il devrait utiliser le système.
- **l'image**, reprise du travail de Moore et Benbasat (1991). Cette variable renvoie au degré avec lequel un individu perçoit que l'utilisation de l'innovation va améliorer son statut ou son système social.
- **la pertinence avec le travail**, définie comme le degré avec lequel un individu croit que le système est applicable à son travail.
- **la qualité des résultats**, qui indique le degré avec lequel un individu croit que le système réalise bien ses tâches professionnelles.
- **la démontrabilité des résultats**, inspirée de l'étude de Moore et Benbasat (1991). C'est le degré avec lequel un individu croit que les résultats de l'utilisation d'un système sont tangibles, observables, communicables.

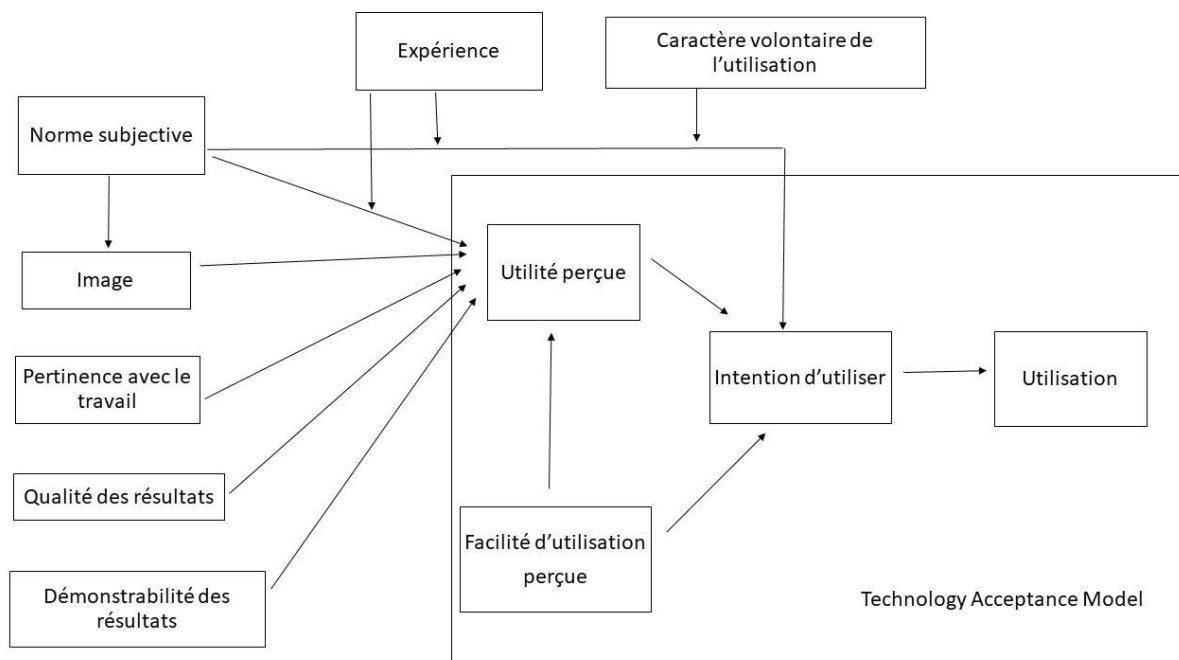


Figure 5 : Technology Acceptance Model 2 (d'après Venkatesh & Bala, 2008)

Dans le TAM 2, les antécédents de la facilité d'utilisation perçue ne sont pas précisés. On peut noter que le concept d'attitude est retiré. Le TAM 2 est testé et validé, dans le cadre d'une étude longitudinale au sein de 4 organisations différentes (Venkatesh & Bala, 2008). L'ajout de facteurs améliore le pouvoir prédictif du modèle puisque le TAM 2 explique 60% de la variance de l'utilisation (Alexandre et al., 2018).

2.3.4. Critique du TAM 2

Le principal apport du TAM 2 réside dans l'amélioration du pouvoir prédictif du modèle initial. Le modèle est moins simple qu'à l'origine mais reste robuste. Le TAM 2 soutient l'influence des 5 facteurs de l'utilité perçue sur l'adoption technologique.

Cependant, le TAM 2 a des limites. S'il atténue le caractère trop réducteur du modèle original, le TAM 2 est exposé à certaines critiques faites au TAM, telles que l'exclusion des phénomènes d'appropriation, une modélisation linéaire de l'adoption, une faible prise en compte des variables socio-organisationnelles et la fragilité du lien intention/utilisation effective.

2.3.5. Présentation du TAM 3

En 2008, Venkatesh et Bala proposent le TAM 3 (cf. figure 6), qui peut être vu comme une synthèse des travaux de Venkatesh sur l'acceptation technologique (De Benedittis & Benhayoun-Sadafiyyine, 2018). Ce modèle intègre le TAM et le TAM 2 en y ajoutant 6 antécédents de la facilité d'utilisation perçue :

- **l'auto-efficacité informatique**, définie par le degré avec lequel un individu croit qu'il a la capacité de réaliser une tâche spécifique en utilisant un ordinateur. Ce facteur est inspiré du travail de Compeau & Higgins (1995).
- **les perceptions du contrôle externe**, qui traduisent le degré avec lequel un individu croit que les ressources techniques et organisationnelles existent pour supporter l'utilisation du système (Venkatesh & al., 2003).
- **l'anxiété informatique**, qui est le degré d'appréhension, de peur d'un individu face à l'utilisation d'ordinateurs.
- **l'aspect ludique de l'ordinateur**. Ce facteur trouve son origine dans les travaux de Webster & Martocchio (1992). C'est le degré de spontanéité cognitive dans les interactions avec les ordinateurs.
- **le plaisir perçu**. Cette variable traduit la perception du caractère agréable de l'utilisation, en dehors des conséquences sur la performance.
- **l'utilisabilité objective**, qui renvoie à l'effort requis pour exécuter des tâches spécifiques. Il ne s'agit pas de la perception de l'utilisateur mais d'une mesure objective.

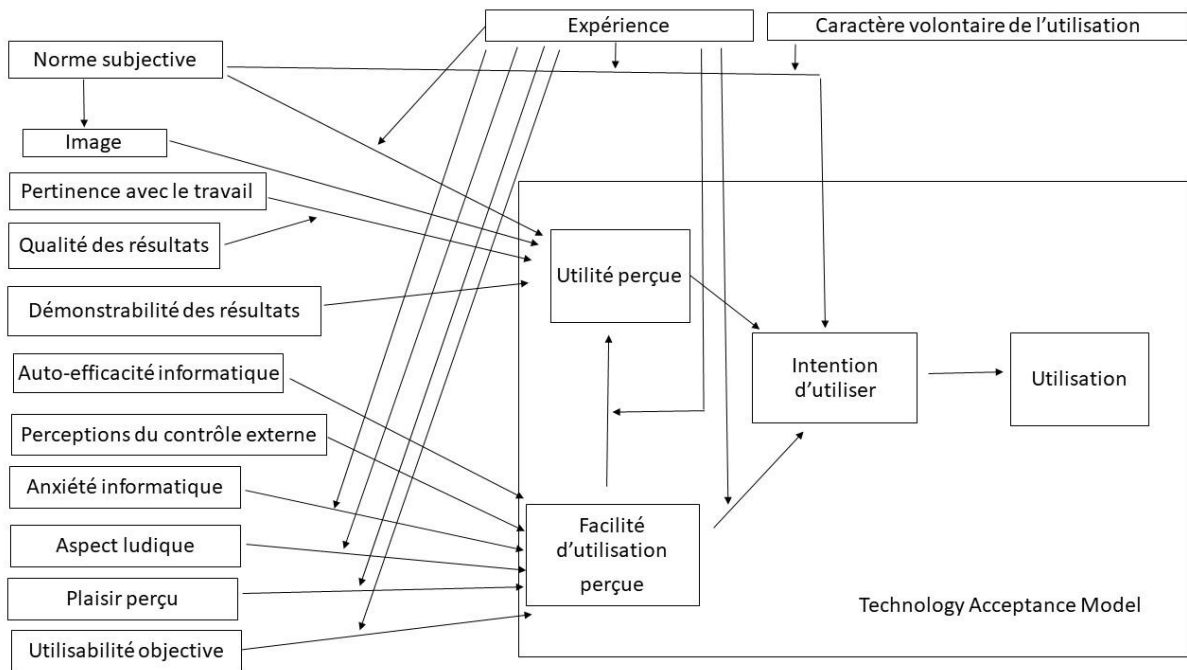


Figure 6 : Technology Acceptance Model 3 (d'après Venkatesh & Bala, 2008)

Le TAM 3 est testé dans une étude longitudinale, au sein de quatre organisations, outillée par un questionnaire à 25 items. L'analyse statistique des données recueillies permet la validation du modèle.

2.3.6. Critiques du TAM 3

Le TAM 3 a permis de mettre en lumière des facteurs influant sur la facilité d'utilisation perçue. En ce sens, il a constitué une avancée dans la compréhension du phénomène de l'adoption technologique.

Toutefois, plusieurs critiques peuvent être adressées au TAM 3. Tout d'abord il a fait perdre au TAM sa simplicité et ses fondations théoriques, par l'ajout de nombreuses variables (Hammes-Adelé, 2011). De plus, il n'a pas apporté de réponses aux critiques concernant l'exclusion des phénomènes d'appropriation, la modélisation linéaire de l'adoption, la faible prise en compte des variables socio-organisationnelles et la fragilité du lien intention/utilisation effective.

2.4. Modèle du succès des systèmes d'information (DeLone & McLean, 1992)

2.4.1. Présentation du modèle

En 1992, dans le domaine du management des systèmes d'informations, DeLone et McLean proposent l'Information System Success Model (ISSM), ou modèle du succès des systèmes d'information, à partir d'une revue de la littérature. Ce modèle est mis à jour en 2003 (Petter et al., 2008). Nous ne présenterons ici que la version de 2003 (cf. figure 7).

Modèle influant en sciences de l'information (Février, 2011), l'ISSM place la satisfaction au centre de l'adoption technologique. Plus l'usage est satisfaisant plus la technologie est adoptée (Jawadi, 2014). L'ISSM est donc une approche hédonique de l'adoption (Alexandre et al., 2018).

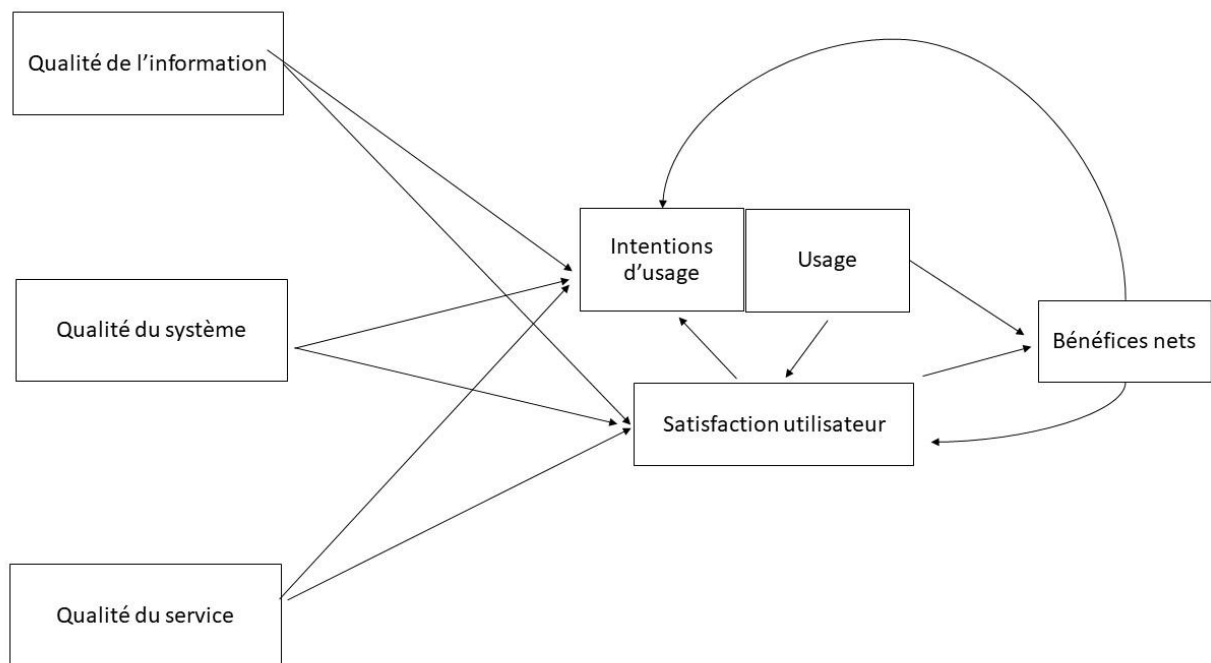


Figure 7: Information System Success Model 2003 d'après (Petter et al., 2008)

L'intention d'utilisation et l'usage sont déterminés par 5 variables (Petter et al., 2008) :

- **la qualité de l'information**, qui renvoie aux caractéristiques désirables de l'information apportées par le système. Le nombre de caractéristiques n'est pas arrêté. Il s'agit par exemple de la pertinence de l'information, de sa compréhensibilité, de sa précision, de sa concision, de sa complétude, de sa crédibilité etc.

- **la qualité du système**, associée aux caractéristiques désirables du système en lui-même (ex : facilité d'utilisation, flexibilité, fiabilité, facilité d'apprentissage, fonctionnalités proposés, intuitivité, sophistication, temps de réponse...).
- **la qualité de service** traduit le soutien que reçoit l'utilisateur de la part des personnels supports (ex : Direction des Services Informatiques). Différents aspects peuvent être considérés comme la réactivité, la précision, la fiabilité, la compétence technique, l'empathie etc.
- **la satisfaction**. La définition de la satisfaction est sujette à débat (Hammes-Adelé, 2011). Elle peut toutefois être définie comme une expérience positive d'interaction avec l'outil (Alexandre et al., 2018). Elle est évaluée par questionnaire (Brangier et al., 2010).
- **les bénéfices nets** représentent les avantages liés à l'utilisation du système. Ils expriment la contribution du système dans le succès d'une entité ciblée (des individus, des groupes, des organisations, des industries, des nations). Des avantages nets peuvent être l'amélioration la prise de décision, de la productivité, des ventes... (Petter et al., 2008), ou encore les temps d'exécution d'une tâche (Sagnier et al., 2019). Ces points positifs ne sont pas spécifiquement définis. Leur opérationnalisation dépend du chercheur et du contexte (Hammes-Adelé, 2011).

2.4.2. Critique du modèle

L'ISSM contribue à plusieurs apports notables. Tout d'abord c'est un modèle validé de nombreuses fois (Hammes-Adelé, 2011). Il contribue donc à l'explication de l'adoption technologique avec la mise en lumière de plusieurs facteurs (qualité de l'information, qualité du système, qualité de service, satisfaction, bénéfices nets). De plus le modèle tient compte des effets de l'utilisation, contrairement à l'IDT ou au TAM par exemple. Cette considération des effets de l'utilisation est intéressante sur 2 volets. Premièrement, les effets sont envisagés à plusieurs niveaux. Ils concernent à la fois l'individu et sa satisfaction, ainsi que la performance de l'organisation. Deuxièmement, ces effets ont une influence rétroactive sur l'utilisation. L'ISSM n'est pas un modèle linéaire. Il tient compte de l'influence mutuelle entre acceptation et usage (Sagnier et al., 2019). Les effets de l'usage viennent impacter la décision d'utiliser à nouveau.

L'ISSM présente néanmoins une limite majeure. Le contexte n'est pas assez intégré en tant que facteur de l'usage. Il est souvent limité au type de technologie et aux objectifs du chercheur (Hammes-Adelé, 2011). Ainsi, les facteurs socio-organisationnels ne sont que partiellement pris en compte à travers la variable qualité de service. Le support apporté aux

utilisateurs ne représente que très partiellement les impacts des aspects sociaux et organisationnels sur l'adoption technologique.

2.5. Modèles de l'ingénierie de l'utilisabilité (Nielsen, 1993)

2.5.1. Présentation des modèles

Les modèles de l'ingénierie de l'utilisabilité représentent un riche courant de recherches, initiées dans les années 1980 (Alexandre et al., 2018 ; Dillon & Morris, 1999). Ces modèles s'inscrivent dans le courant de l'Interaction Homme-machine (IHM), des sciences cognitives et de la psychologie cognitive (Quiguer, 2013). Les termes d'ergonomie de l'interface ou d'ergonomie du logiciel (Brangier et al., 2010 ; Debue et al., 2013) se rapportent à ces modèles. Leur objectif est d'optimiser l'interaction entre un utilisateur et un système (Folcher & Rabardel, 2004 ; Hammes-Adelé, 2011 ; Sagnier et al., 2019). De nombreux modèles voient le jour, un des plus connus étant le modèle de l'acceptabilité de Nielsen (1993 ; cf. figure 8).

Dans ce modèle, l'acceptabilité a 2 composantes, pratique et sociale (Arbelaez Garces, 2016 ; Tricot et al., 2003). Seule la composante pratique, (aussi appelée opératoire ou instrumentale) est explicitée (Reerink-Boulangier, 2012).

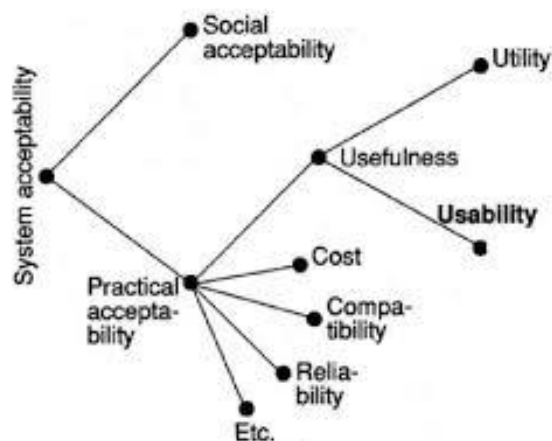


Figure 8 : Modèle de l'acceptabilité d'un système (d'après Nielsen, 1993)

Deux dimensions sont déterminantes : l'utilité et l'utilisabilité.

- **L'utilité** renvoie à l'adéquation entre d'une part les fonctionnalités du système, c'est-à-dire ce qu'il permet de faire, et l'utilisateur d'autre part, c'est-à-dire ses besoins, ses buts et ses caractéristiques fonctionnelles (Burkhardt & Sperandio, 2004 ; Terrade et al., 2009). L'ou-

Escande (2010) distinguent 2 aspects de l'utilité : « l'utilité-destination » (ce en quoi le système est utile, d'un point de vue absolu) et « l'utilité-valeur » (la plus-value apportée par l'artefact et l'avantage perçu par l'utilisateur). L'utilité est un concept proche de l'avantage relatif dans l'IDT (cf. II 2.1) et l'utilité perçue des Technology Acceptance Models (cf. II 2.4).

- **L'utilisabilité** renvoie à l'effort requis pour se servir du système, c'est-à-dire à la facilité d'utilisation de façon globale (Quiguer, 2013). C'est un facteur proche de la complexité de l'IDT et de la facilité d'utilisation perçue des Technology Acceptance Models. Selon la norme 9241-11, citée par Debue et collaborateurs (2013) l'utilisabilité renvoie à l'efficacité, l'efficience et la satisfaction ressentie par l'utilisateur, comme dans l'ISSM (cf. II 2.6). Initialement, l'utilisabilité est envisagée à travers les dimensions perceptives, motrices et cognitives de l'utilisateur (Burkhardt & Sperandio, 2004 ; Williet & Brangier, 2007), notamment les processus visuo-attentionnels (Treisman & Gelade, 1980, cf. III.3.1). Puis, au cours des développements, les émotions sont intégrées au concept de satisfaction (Barcenilla & Bastien, 2009 ; Martin, 2018) notamment avec les travaux de Jordan (1998). Les émotions liées à l'utilisation, tant positives (plaisir, esthétisme, amusement etc.) que négatives (frustration, ennui etc.) sont peu à peu considérées dans l'expérience-utilisateur (UX en anglais pour User eXperience).

L'UX traduit ainsi la qualité de l'interaction entre un système et un utilisateur, dans un contexte (Deconde, 2009). Une bonne expérience-utilisateur renforcerait l'acceptabilité de la technologie. Le jugement évaluatif de l'expérience est central, avec la prise en compte d'une valeur globale de l'artefact dans une approche holistique. L'évaluation finale inclut un large ensemble de critères (Alexandre et al., 2018) qu'il s'agit d'opérationnaliser. Dans ce travail de thèse (cf. III.4), 6 dimensions de l'UX sont prises en compte : la facilité d'utilisation, la facilité d'apprentissage, la fiabilité, la satisfaction, l'utilité et l'intégration dans les pratiques.

Les modèles de l'utilisabilité développent des outils pour évaluer l'acceptabilité d'un dispositif, en termes d'efficacité (les utilisateurs peuvent-ils réaliser leurs tâches ? Si oui, avec quel degré d'achèvement, de précision ?) ; d'efficience (ressources mobilisées pour atteindre ces objectifs telles que le temps d'exécution de la tâche, l'effort nécessaire, les erreurs commises etc.) et de satisfaction (attitudes positives lors de l'utilisation) (Février, 2011 ; Dillon & Morris, 1999). L'évaluation est à la fois objective et subjective.

2.5.2. Critique des modèles

Les modèles de l'ingénierie de l'utilisabilité présentent de multiples avantages. Quatre d'entre eux peuvent être retenus :

- Ces modèles ont largement contribué à comprendre l'adoption technologique en apportant de très nombreuses connaissances. Elles portent à la fois sur « ce que l'utilisateur fait dans un environnement technologique » et sur « ce que les technologies font aux utilisateurs ». Ainsi, des connaissances en psychophysiologie (perception, sensation, vision, audition...) et en psychologie (attention, vigilance, langage, imagerie, intelligence etc.) ont été développées (Brangier et al., 2010 ; Hammes-Adelé, 2011).
- En complément de cette production de connaissances, les modèles de l'utilisabilité fournissent des aides pour l'action (Alexandre et al., 2018 ; Bobillier Chaumon, 2016 ; Dillon & Morris, 1999), avec le développement d'outils pour agir sur l'acceptabilité technologique : guide de conception, méthode de tests utilisateurs, norme ISO etc. Parmi ces outils, les critères ergonomiques occupent une place importante. Ils permettent de réaliser une inspection experte d'une interface (sans les utilisateurs) pour détecter les problèmes majeurs d'utilisabilité. Nielsen (1994) propose 7 principes majeurs : visibilité du statut du système, correspondance entre le système et le monde réel, contrôle de l'utilisateur et liberté, cohérence et norme, prévention des erreurs, reconnaissance plutôt que rappel, flexibilité et efficacité de l'utilisation. En 1993, Bastien et Scapin établissent une liste de 20 recommandations génériques pour assister la conception et l'évaluation de systèmes homme/machine, regroupées en 8 familles (Bach & Scapin, 2005 ; Bastien & Scapin, 1993 ; Quiguer, 2013) : guidage, charge de travail, contrôle explicite, adaptabilité, gestion des erreurs, homogénéité/cohérence, signification des codes & dénominations, compatibilité (cf. Annexe 2 pour les définitions). Ce champ de recherche est toujours actif (voir par exemple Perret et al., 2018).
- Les modèles de l'utilisabilité tiennent compte des effets de l'utilisation, tant sur l'opérateur (satisfaction, émotions induites par l'usage etc.) que sur la performance (temps d'exécution de la tâche, atteinte des objectifs etc.).
- Ces modèles proposent une évaluation de l'acceptabilité à la fois objective (mesure de temps, de nombre d'erreurs par exemple) et subjective (ressenti des utilisateurs recueilli par questionnaire ou entretien) (Davis, 1989 ; Deconde, 2009).

Cependant, les modèles de l'ingénierie présentent une limite importante pour appréhender l'adoption technologique : la faible prise en compte des dimensions socio-

organisationnelles. Même si les définitions de l'utilisabilité incluent la notion de contexte (Barcenilla & Bastien, 2009 ; Loup-Escande et al., 2015), celui-ci est rarement défini de façon précise, notamment en termes sociaux et organisationnels. L'utilisateur est généralement envisagé dans sa dimension personnelle, individuelle, et non en interaction avec d'autres opérateurs. L'acceptabilité sociale est explicitement délaissée dans ces modèles. Elle est présentée comme ayant une influence mais n'est pas définie. Les contraintes sociales et normatives de l'utilisateur et la conformité aux besoins sociaux, sont ignorées (Bobillier Chaumon & Dubois, 2009 ; Reerink-Boulangier, 2012), isolant l'adoption de son « socle anthropologique » (Brangier et al., 2010). Si l'acceptabilité pratique est une condition nécessaire, elle ne semble pas suffisante pour saisir la complexité de l'adoption (Barera et al., 2017 ; Hammes-Adelé, 2011). Finalement, les approches ne prenant pas en compte la situation de travail se sont développées au profit de celles qui la considèrent (Bastien & Tricot, 2008).

2.6. Théorie unifiée de l'Acceptation et de l'Usage des technologies (Venkatesh et al., 2003)

2.6.1. Présentation du modèle

En 2003, la théorie unifiée de l'acceptation et de l'usage des technologies (UTAUT pour Unified Theory of Acceptance and Use of Technology) est proposée (cf. figure 9). Le modèle est établi à partir d'une revue de littérature de 8 modèles existants (Venkatesh et al., 2003) :

- la TRA
- la TPB
- le TAM
- un modèle combinant TAM et TPB (voir Taylor & Todd, 1995)
- le modèle de la motivation (voir Davis, Bagozzi & Warshaw, 1992)
- le modèle de l'utilisation de l'ordinateur (voir Thompson, Higgins & Howell, 1991)
- la théorie de la diffusion de l'innovation
- la théorie de la cognition sociale (voir Compeau & Higgins, 1995)

Les déterminants les plus significatifs de ces modèles sont sélectionnés (Jawadi, 2014) pour établir l'UTAUT. Quatre facteurs ont un effet direct sur l'intention d'utiliser et/ou l'usage (Venkatesh et al., 2003) :

- **l'attente de performance.** C'est le prédicateur le plus fort de l'intention d'usage comparé aux trois autres facteurs. L'attente de performance correspond au degré selon lequel un individu croit qu'utiliser la technologie va l'aider à obtenir des bénéfices dans sa performance professionnelle. Ce facteur inclut 5 construits existants dans les 8 modèles : l'utilité perçue, la motivation intrinsèque, la correspondance avec le travail, l'avantage relatif et les attentes sur les résultats.

- **l'attente d'effort,** qui renvoie au degré de facilité associé à l'utilisation du système. Trois construits existants sont inclus : la facilité d'utilisation perçue, la complexité et la facilité d'utilisation.

- **l'influence sociale.** Cette variable traduit le degré selon lequel un individu perçoit que les autres personnes importantes pour lui, croient qu'il devrait utiliser le nouveau système. Ce facteur incorpore 3 paramètres existants : la norme subjective, les facteurs sociaux (modèle de l'utilisation de l'ordinateur) et l'image (IDT).

- **les conditions facilitatrices.** Elles représentent la croyance de l'individu sur une infrastructure technique et organisationnelle existante pour soutenir l'utilisation du système. Ce facteur contient 3 construits : le contrôle comportemental perçu, les conditions facilitatrices (modèle usage de l'ordinateur) et la compatibilité (IDT).

L'influence de ces 4 facteurs est médiée par 4 variables modératrices :

- le genre de l'utilisateur
- son âge
- son expérience d'utilisation
- le caractère volontaire de l'usage

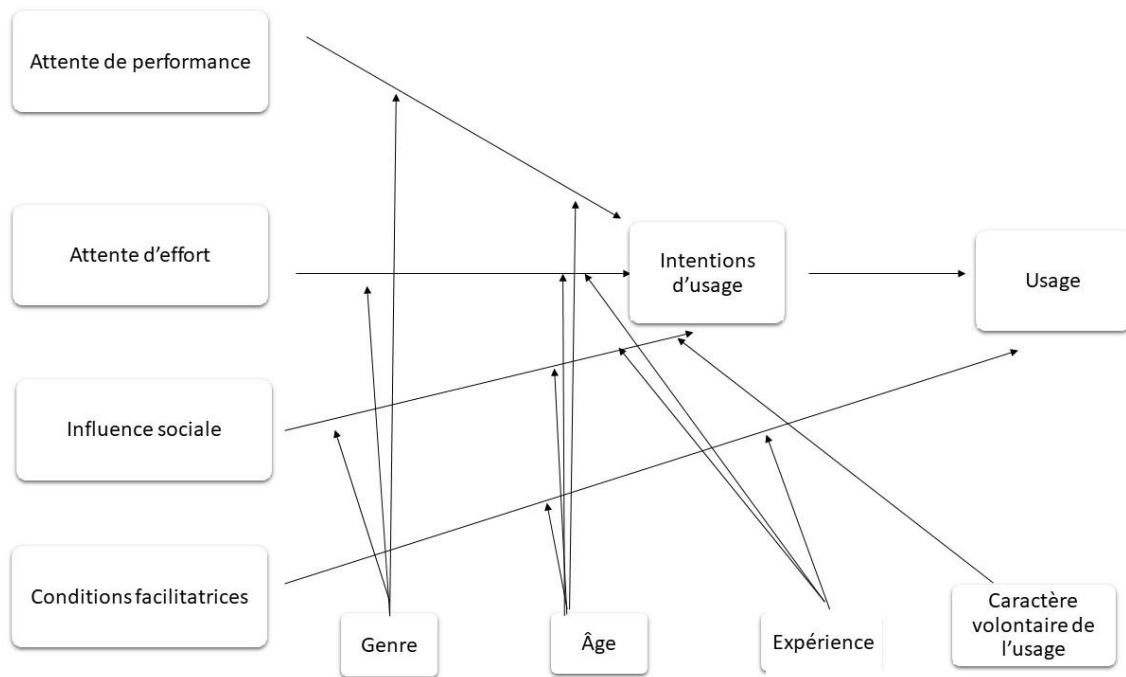


Figure 9 : Unified Theory of Acceptance and Use of Technology d'après Venkatesh et al. (2003)

En 2012, l'UTAUT 2 est proposé par Venkatesh et collaborateurs. Trois déterminants des intentions sont ajoutés aux 4 existants du modèle original (Martin, 2018) :

- la motivation hédonique qui concerne la perception du plaisir lié à l'utilisation
- la valeur de prix qui traduit un compromis avantages perçus/coût monétaire
- les habitudes qui renvoient aux perceptions des résultats d'expériences d'utilisation antérieures

2.6.2. Critique du modèle

L'UTAUT présente 3 avantages principaux. Tout d'abord, c'est un modèle très utilisé (Amadiou et al., 2019) qui a été validé dans des travaux de méta-analyses (Martin, 2018). Grâce à l'UTAUT, il a pu être démontré que les 8 construits (attentes de performance & d'effort, influence sociale et conditions facilitatrices, genre, âge, expérience et caractère volontaire de l'usage) jouent bien un rôle dans l'adoption d'une technologie par un individu. Le pouvoir prédictif du modèle est de 70% concernant l'intention et de 50% à propos de l'usage (Alexandre et al., 2018 ; Hammes-Adelé, 2011 ; Ibanescu, 2011 ; Isaac et al., 2006). De plus, en intégrant l'influence sociale et les conditions facilitatrices, l'UTAUT a tenté de prendre en considération les aspects socio-organisationnels de l'adoption. On y trouve par exemple la formation ou le

soutien des services informatiques (Cippelletti, 2017). Le modèle essaie de tenir compte des caractéristiques de l'individu et des conditions environnementales (Reerink-Boulanger, 2012). Enfin, l'UTAUT porte la volonté d'une intégration de plusieurs modèles existants. Il a ainsi contribué à la rencontre de plusieurs mondes théoriques et une vision un peu plus globale de l'adoption technologique, par l'intégration des variables des principaux modèles (Reerink-Boulanger, 2012).

Cependant, plusieurs critiques peuvent être adressées à l'UTAUT. Tout comme l'IDT et le TAM, il n'inclut pas les phénomènes d'appropriation et propose une modélisation linéaire de l'adoption technologique. Ainsi, l'influence mutuelle entre acceptation et usage (Sagnier et al., 2019) n'est donc considérée que dans un sens. De plus, la tentative de prise en compte des paramètres sociaux-organisationnels reste trop limitée. Enfin, à l'instar des autres modèles basés sur l'intention d'utilisation, l'UTAUT est exposé à la fragilité du lien entre intention et utilisation.

2.7. Synthèse sur les modèles classiques de l'adoption

2.7.1. Les apports des modèles classiques

Les apports de ces modèles classiques de l'adoption technologique sont nombreux. On peut en dégager 2 majeurs.

Tout d'abord, ces théories ont posé les bases de l'approche anthropocentrée de l'adoption technologique, contribuant à ébranler les paradigmes du déterminisme technologique dur, encore dominants (Béguin & Rabardel, 2000 ; Burkhardt & Sperandio, 2004). Dans ces paradigmes technocentrés, la technologie, présumée bénéfique (cf. II.1.2) et universelle quel que soit le contexte, s'impose aux acteurs qui doivent s'adapter (Bernoux & Gagnon, 2008 ; Rabardel, 1995). A l'opposé, la vision anthropocentrée postule que la technologie n'est pas uniquement déterminante pour les individus, mais également déterminée par les individus (Bobillier Chaumon, 2013). La conception et l'implantation des technologies sont pensées comme des processus sociotechniques (Eastwood et al., 2013) à dominante organisationnelle plutôt que technique (Arbelaez Garces, 2016 ; Quiguer, 2013). La focale ne se porte pas sur la valeur du dispositif en lui-même mais sur la valeur liée à son usage.

Enfin, les modèles classiques de l'adoption technologique ont largement contribué à la construction de nombreuses connaissances, pour comprendre la relation utilisateur-technologie-

organisation (Baudet & Lebraty, 2018), et, dans une moindre mesure pour agir sur l'adoption (ex : prédiction de l'adoption avec des questionnaires d'acceptabilité, recommandations pour la conception, méthodes d'évaluation des dispositifs).

Cependant, les modèles classiques de l'adoption souffrent de certaines limites.

2.7.2. Les limites des modèles classiques

Trois limites peuvent être adressées aux modèles classiques de l'adoption technologique.

Premièrement, une restructuration des facteurs de l'adoption, dans une approche plus macroscopique, est nécessaire. Les facteurs mis en lumière par les modèles classiques sont très nombreux (ex : une cinquantaine de facteurs dans les 6 modèles présentés, cf. II.2). De plus, les facteurs étudiés par les modèles classiques se recoupent fortement. Par exemple, l'avantage relatif perçu de l'DT (cf. II.2.1) est très proche de l'utilité perçue des Technology Acceptance Models (cf. II.2.4), des attentes de performance de l'UTAUT (cf. II.2.5) et du concept d'utilité des modèles de l'utilisabilité (cf. II.2.3). Ces recouvrements peuvent s'expliquer par l'actualisation d'anciens concepts sous de nouveaux noms (Alexandre et al., 2018) ou par le développement de concepts proches dans des disciplines différentes (cf. II.1.2). Enfin, les facteurs de l'adoption dans les modèles classiques sont eux-mêmes des variables plus macroscopiques, ou méta-critères. Ces facteurs ne sont pas toujours arrêtés dans leur définition et peuvent englober des variables à plus fine échelle (ex : l'avantage relatif de l'IDT se décline en avantage économique ou social ; l'attente de performance dans l'UTAUT inclut l'utilité perçue, la motivation intrinsèque, la correspondance avec le travail, l'avantage relatif et les attentes sur les résultats).

Deuxièmement, ces modèles proposent une modélisation réductrice de l'Homme. D'une part, ils se centrent souvent sur une des dimensions de l'utilisateur, minimisant voir oubliant ses autres dimensions (ex : dimension cognitive dans les modèles de l'utilisabilité, dimension sociale dans la TPB). Les modèles classiques ont ainsi développé une compréhension fine des relations entre certaines des composantes du triptyque utilisateur-technologie-organisation. Cependant, du point de vue de l'ergonomie, ces relations doivent s'inclure dans une approche holistique de l'Homme (Falzon, 1998, 2004 ; Gaillard, 2014). De plus, les facteurs sociaux-organisationnels sont globalement pris en compte de façon réductrice dans les modèles classiques de l'adoption. La place de l'utilisateur dans une organisation, et les autres individus avec qui il est en interaction, sont négligés. Par exemple, dans la TPB, le rôle des autres (ceux

qui ont de l'importance aux yeux de l'utilisateur) n'est appréhendé qu'en termes de pression sociale. Les TAM 2 et 3 proposent une vision proche via la norme subjective et l'image (amélioration du statut social). L'UTAUT, à travers sa variable conditions facilitatrices, souligne que les autres peuvent soutenir l'utilisation de la technologie en représentant une ressource, technique et organisationnelle, pour l'utilisateur. Cette perspective se rapproche du concept de qualité de service de l'ISSM. De larges pans des conséquences, sociaux-organisationnelles, de l'utilisation de la technologie sont ignorés : prescription et supervision du travail, autonomie de l'utilisateur, sens qu'il donne à son travail ou aux rapports sociaux qu'il entretient avec les autres (coordination, responsabilités, pouvoir, marges de manœuvres etc.).

Troisièmement, les modèles classiques n'envisagent par l'adoption technologique au prisme de l'activité. Pourtant, l'adoption d'un artefact passe par son adéquation avec le travail réel des utilisateurs finaux, c'est-à-dire leur activité (Amadiou et al., 2019 ; Bobillier Chaumon, 2013 ; Hammes-Adelé, 2011 ; Lamb et al., 2008 ; Poupon et al., 2017). En effet, l'usage de la technologie transforme l'activité de l'utilisateur (Barera et al., 2017 ; Béguin & Rabardel, 2000 ; Jouët, 2000 ; Lassalle et al., 2016) avec des effets potentiels, positifs et négatifs sur les tâches (ajout, suppression, recomposition), sur la charge de travail et les compétences de l'utilisateur, les identités professionnelles, les collectifs etc. (Caroly, 2007 ; Jourdan, 1990). Le rapport entre l'utilisateur et son travail peut être profondément transformé, tant dans la façon de réaliser le travail, que dans les manières de l'organiser ou de le penser.

De plus, l'artefact se transforme dans l'activité (Béguin & Rabardel, 2000 ; Moreira, 2017). C'est ce que Rabardel (1995) appelle l'instrumentalisation (cf. II.3.2). La technologie peut être transformée par l'utilisateur (Sagnier et al., 2019), à travers des phénomènes d'adaptation (modification du dispositif pour l'adapter à des nouveaux usages ou à des caractéristiques de l'utilisateur), d'extension (ajout d'éléments pour en agrandir la liste des fonctions), de détournement (pour un usage non prévu) etc. (Akrich, 1993 ; Proulx, 2005).

3. L'adoption technologique et le concept d'activité

Le concept d'activité prend en considération le double sens de la relation entre l'utilisateur et la technologie (d'une part l'usage de la technologie transforme l'activité de l'utilisateur et, d'autre part, la technologie se transforme dans l'activité). Il apparaît ainsi comme un cadre théorique pertinent pour l'étude de l'adoption technologique (Engeström, 2000 ; Groleau & Mayère, 2007). Ce concept peut donc soutenir la compréhension des

situations d'usage des technologies, pour favoriser l'action ergonomique dans le cadre du projet VitiOptimum.

3.1. Le concept d'activité

Le concept d'activité s'inscrit dans un ensemble de théories qui trouvent leurs fondements dans les travaux soviétiques des années 1920, sur la psychologie du développement humain (Bornet & Brangier, 2013). En France, les travaux de Favergé et Ombredane des années 1950 s'inscrivent dans ce mouvement (Darses, 2016). Les recherches de Vygotsky puis de Leontiev sont développées par Engeström et ses collègues finlandais au début des années 1990 (Reerink-Boulangier, 2012). La théorie de l'activité constitue de nos jours une approche de recherche multidisciplinaire et globale pour comprendre des phénomènes contextualisés et dynamiques (Engeström, 2000 ; Haradji & Faveaux, 2006). Dans cette thèse, l'activité est envisagée à travers le schéma des 5 carrés, modèle majeur en ergonomie de l'activité (Van Belleghem, 2017) et relativement simple.

Ce modèle, également appelé modèle Homme-Tâche-Activité ou modèle de la double régulation de l'activité, est initié par Leplat et Cuny dans les années 1970. Il connaît plusieurs évolutions et enrichissements (Laneyrie, 2015). Le schéma compte 5 carrés (figure 10) :

(1) **Les déterminants internes** (ou humains) de l'activité. Ils correspondent aux caractéristiques de l'individu : âge, genre, capacités cognitives, caractéristiques anthropométriques, formation, compétences etc.

(2) **Les déterminants externes** de l'activité, parfois appelés caractéristiques de la tâche ou caractéristiques de l'entreprise (Laneyrie, 2015). Ces déterminants peuvent être classés en 4 grandes catégories (Grosdemouge, 2017) : les conditions techniques et technologiques (outils, machines, installations...) – les conditions organisationnelles (règles émises par la structure, procédures, lois et réglementations etc.) – les conditions physiques ou environnementales (Chizallet, 2019) telles que le bruit ou l'éclairage – les conditions socio-économiques (collectif de travail, rapports sociaux etc.).

(3) **L'activité de l'individu**. L'activité, autrefois appelée conduite de l'opérateur est au centre du modèle (Daniellou & Béguin, 2004). Elle se rapporte à ce qui est fait, aux actes de l'individu pour accomplir la tâche, mais également ce qui ne se fait pas ou ce qui est empêché (Clot, 2010, cité par Galey, 2019). Elle englobe le comportement, qui est la partie observable de l'activité (Falzon, 2004). L'activité est la mobilisation d'un sujet qui agit pour répondre pour atteindre

son but, en fonction des contraintes et ressources issues des déterminants internes et externes (Bobillier Chaumon, 2013 ; Chadoin et al., 2016 ; Darses, 2016). L'individu se mobilise dans ses composantes physiques, mentales et interagit avec les autres (Folcher & Rabardel, 2004 ; Laneyrie, 2015) qu'ils soient par exemple collègues, hiérarchies, usagers, patients, clients, fournisseurs, administrés. Daniellou (1997 ; cité par Garrigou et collaborateurs, 2004), propose 4 dimensions : biologique (fonctionnement physiologique du corps humain : système musculo-squelettique et perceptif, rythmes circadiens etc.) – cognitive (processus de recherche et traitement de l'information : mémorisation, raisonnement, prise de décision etc.) – psychique (structuration de la personnalité du sujet, de sa subjectivité : sens donné au travail, valeurs, histoire personnelle etc.) – sociale (construction des rapports sociaux avec différents groupes auxquels l'individu appartient). L'approche holistique de l'Homme est privilégiée (Falzon, 2004), avec la possibilité de développer une dimension en particulier.

(4) **Les effets de l'activité sur l'individu.** Ils représentent les conséquences, positives et négatives, de l'activité sur les 4 dimensions du sujet : accident du travail, maladie professionnelle, épanouissement, satisfaction, surcharge cognitive, ennui, développement de compétences, conflit avec d'autres acteurs etc.

(5) **Les effets de l'activité sur la performance de l'organisation.** Ils représentent les conséquences, positives et négatives, de l'activité sur la structure (entreprise, association, administration etc.) dans laquelle l'individu s'insère : qualité, quantité, fiabilité, absentéisme etc.

Ces 5 carrés sont liés par plusieurs interactions qui ont une place importante dans la modélisation (Chizallet, 2019). Celles-ci sont, d'une part, descendantes. En effet, les caractéristiques internes et externes influencent l'activité qui engendre à son tour des effets. Les interactions sont également ascendantes. Les effets de l'activité impactent l'activité dans son déroulement au cours du temps (ex : un mal de dos consécutif à un port de charge peut transformer l'activité de manutention qui suivra – la non atteinte d'un objectif de qualité peut remanier l'activité de fabrication d'un produit). De plus les effets de l'activité influent sur les déterminants internes et externes de cette activité (ex : une surcharge d'information peut affecter les capacités cognitives – des problèmes de rebuts sur une chaîne de production peuvent être à l'origine de conflits avec les collègues). Enfin, l'activité elle-même a un effet rétroactif sur les déterminants internes et externes (ex : l'activité peut développer les compétences de l'individu – la recherche visuelle d'informations peut pousser l'individu à agir sur les conditions

d'éclairage). Le sujet, envisagé comme un agent intelligent, peut orienter son activité et la réguler (Béguin, 2007). L'opérateur intègre les entrées du processus (déterminants internes et externes) pour en optimiser les sorties (effets de l'activité). Ces régulations peuvent se réaliser en boucle longue (les actions de corrections mettront du temps à montrer leurs effets) et courte (Falzon, 2004). Elles concernent à la fois les déterminants internes et externes (Van Belleghem, 2018). Pour mettre en œuvre ces régulations, l'individu doit disposer de marges de manœuvre, c'est-à-dire d'un certain degré de liberté à l'intérieur du système de règles (Arnoud, 2013, cité par Grosdemouge, 2017).

Le schéma des 5 carrés est une modélisation macroscopique de l'activité. Elle apparaît comme située dans un contexte (Reerink-Boulanger, 2012), qui fournit des ressources et des contraintes à l'individu. L'activité est également pensée comme dynamique via la notion de régulations. L'ensemble du système d'activité évolue au cours du temps (Daniellou, 2006). Cette modélisation accorde une place importante à la variabilité, tant dans les déterminants de l'activité que dans les variations intra et inter individuelles.

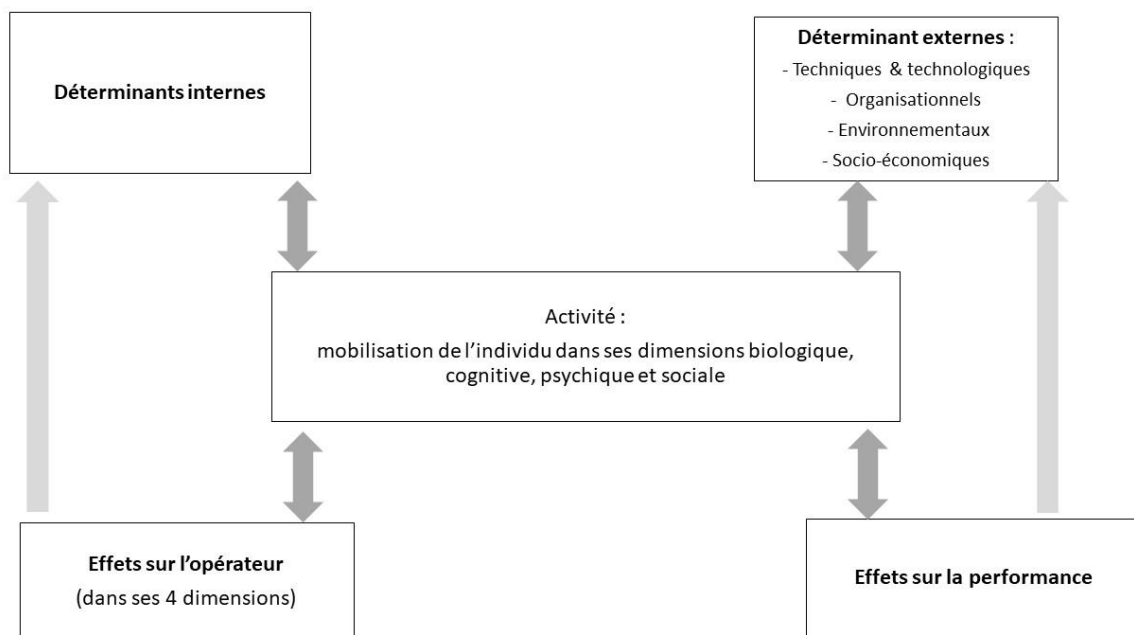


Figure 10 : Schéma des 5 carrés adapté de Leplat et Cuny (1977)

La modélisation de l'activité a inspiré des cadres théoriques sur l'adoption technologique. Trois cadres conceptuels peuvent être retenus :

- l'approche instrumentale (Rabardel, 1995)
- la technosymbiose (Brangier 2002, inspiré de Licklider, 1960)
- l'acceptation située (Bobillier Chaumon, 2013)

3.2. Les modèles de l'adoption en lien avec le concept d'activité

3.2.1. L'approche instrumentale

L'approche instrumentale, développée par Rabardel depuis les années 1990, étudie les relations entre l'Homme et les objets en prenant notamment appui sur les théories de l'activité. Les objets étant pensés et conçus en fonction d'un environnement humain, ils sont qualifiés d'anthropotechniques (par contraste avec techniques). L'Homme est ainsi placé au cœur de l'analyse dans les relations homme-technologie-environnement (Rabardel, 1995). L'approche instrumentale vise à comprendre les processus d'appropriation des technologies (voir Moreiro, 2017, pour une application aux technologies de la vigne) et agir au stade de la conception. L'approche instrumentale appréhende les technologies comme des médiateurs de l'activité d'un sujet socialement situé (Folcher & Rabardel, 2004). La modélisation SACI, pour Système d'Activités Collectives Instrumentées (cf. figure 11), permet de schématiser les relations entre l'utilisateur, les autres acteurs, la technologie et l'objet de l'activité (Rabardel, 1995).

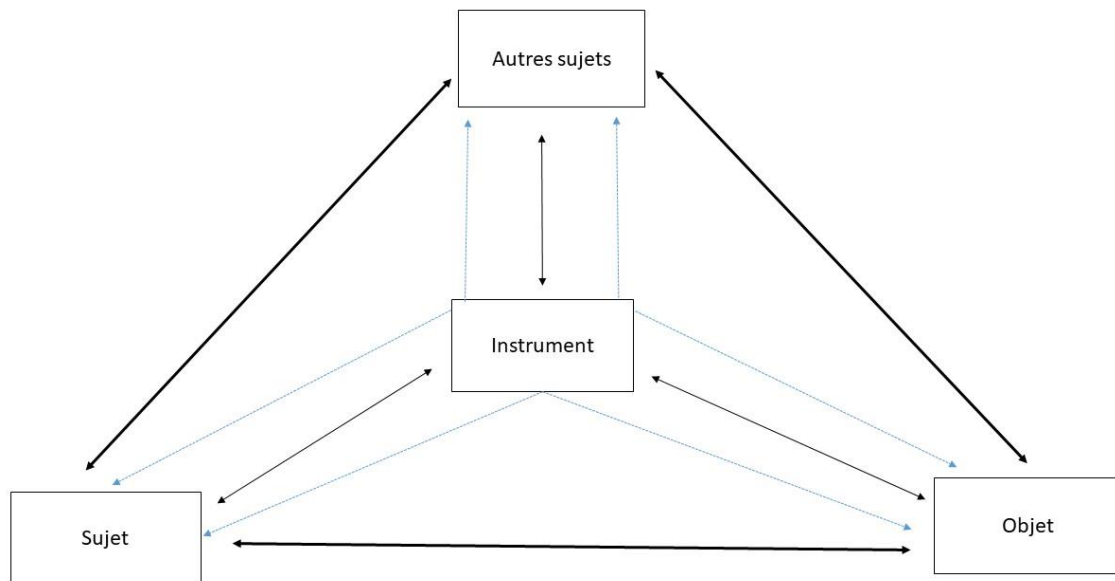


Figure 11 : Modèle S.A.C.I. des Situations d'Activités Collaboratives Instrumentées (Rabardel, 1995)

Le sujet est l'individu, qui peut être assimilé à un travailleur, un opérateur ou un agent (Rabardel, 1995). Dans le cas de l'adoption technologique, le terme d'utilisateur est retenu. Le sujet est l'héritier d'une culture et porte des significations aux artefacts qu'il mobilise dans son activité. Il s'engage intentionnellement dans l'activité en fonction de ses buts et de ses mobiles (Folcher & Rabardel, 2004). L'approche instrumentale souligne l'inventivité et la subjectivité des utilisateurs dans l'usage des artefacts au cours de l'activité (Béguin & Rabardel, 2000 ; Poupon et al., 2017).

L'instrument est symbolique (ex : langages opératifs) ou matériel (outil, machine, technologies etc.). Il est une réalité psychologique et sociale pour le sujet. L'instrument est une entité mixte constitué d'un artefact (l'objet) et de schèmes d'utilisation développés par le sujet. Les schèmes d'utilisation sont des organisations actives de l'expérience vécue du sujet. Ils servent à interpréter les nouvelles données. L'artefact devient instrument suite aux processus de genèse instrumentale. C'est le sujet qui transforme l'artefact en instrument au cours de son activité (Béguin & Rabardel, 2000). Par exemple, un individu fait d'une messagerie électronique (artefact), un véritable outil, une fois qu'il a développé un schème d'utilisation (ex : envoyer un courriel).

L'objet est la cible de l'action, dirigée à l'aide de l'instrument, par exemple le papier peint lors de l'usage d'une décolleuse à papier (Rabardel, 1995).

Les autres sujets sont les acteurs du système avec qui l'utilisateur est en relation. Il peut s'agir de collègue ou d'un utilisateur avec lequel le sujet collabore via l'usage d'une technologie.

La modélisation accorde une grande importance aux interactions, multiples et complexes entre les différents pôles. Ces pôles sont intégrés dans un environnement, défini comme l'ensemble des conditions dont le sujet doit tenir compte dans son activité finalisée. L'approche instrumentale intègre les caractéristiques de complexité, de variabilité, de diversité et de singularité des situations réelles (Rabardel, 1995).

L'appropriation de la technologie passe par le processus de genèse instrumentale par lequel l'artefact devient instrument pour le sujet en activité (Moreiro, 2017). Ce processus revêt 2 facettes (Rabardel, 1995) :

- **l'instrumentation**. Elle correspond à l'émergence et à l'évolution des schèmes d'utilisation. C'est donc une dimension dirigée vers l'utilisateur, qui développe des habiletés et des compétences dans l'utilisation de l'artefact (Rabardel, 1995).

- **l'instrumentalisation**. Elle correspond à l'émergence et à l'évolution des composantes artefact de l'instrument. Le sujet enrichit les propriétés de l'artefact, en fonction de son action située, pour le mettre ainsi « à sa main » (Daniellou, 2007). Il peut transformer ses fonctions voire l'artefact lui-même. Ces transformations sont momentanées, c'est-à-dire adaptées localement pour une action et des circonstances données. Ces transformations peuvent également s'inscrire dans le temps et rester permanentes. L'instrumentalisation est dirigée vers l'artefact (Béguin & Rabardel, 2000 ; Rabardel, 1995).

La genèse instrumentale est donc une évolution de l'artefact et des schèmes d'utilisation. Ces évolutions requièrent du temps. L'approche instrumentale plaide ainsi pour une inscription temporelle de l'étude de l'adoption technologique. Au regard de cette approche, la conception des technologies est déterminante pour l'adoption technologique. L'instrumentalisation est un prolongement de la conception initiale (Béguin & Rabardel, 2000), qui se poursuit dans l'usage de l'artefact (Rabardel, 1995).

3.2.2 La technosymbiose

Le modèle de la technosymbiose est développé par Brangier depuis les années 2000, inspiré des réflexions de Licklider dans les années 1960. Il s'inscrit dans le courant des

approches de l'adoption technologique ; en ergonomie, psychologie et sociologie ; qui tiennent compte des dimensions humaines, de l'utilisateur et du travail réel. La technosymbiose se rapproche donc de cadres conceptuels comme l'approche instrumentale de Rabardel (Brangier, 2002) ou les théories sur le changement organisationnel d'Orlikowski et d'Hoffman (1997, cités par Quiguer, 2013). Ces approches s'opposent à l'idée d'un déterminisme technologique dur (cf. II.2.7). Le terme symbiose, emprunté aux sciences de la vie, est utilisé par Licklider (1960) pour qualifier la relation entre l'Homme et l'ordinateur. La symbiose désigne une relation d'interdépendance idéale entre ces 2 partenaires (Brangier & Hammes, 2007). C'est une association bénéfique qui se traduit par un partenariat productif et prospère pour les 2 êtres symbiotiques (Brangier, 2002). La technologie n'est plus vue comme une entité externe mais comme le prolongement cognitif et social de l'utilisateur (Brangier et al., 2010). La relation symbiotique est à la fois attendue et espérée, car elle est considérée comme source d'amélioration des opérations réalisées par l'Homme (Licklider, 1960). Dans cette perspective, la focale se porte avec la même attention sur la technologie et sur l'utilisateur. C'est leur interaction qui fait le succès (Brangier, 2002) et donc l'adoption technologique. L'approche symbiotique est présentée comme une voie pour rapprocher acceptabilité pratique et acceptabilité sociale (cf. II.1.1) qui sont parfois opposées (Brangier et al., 2010).

Trois grandes variables influencent la symbiose entre utilisateur et technologie et se déclinent sur les pôles du triptyque utilisateur-technologie-contexte socio-organisationnel dans une approche multidimensionnelle et systémique (Brangier et al., 2010 ; Hammes-Adelé, 2011 ; Quiguer, 2013) :

- **Les fonctionnalités du système**

Elles correspondent à ce que le dispositif permet de faire, par exemple appeler quelqu'un dans le cas d'un téléphone. Cette dimension de la symbiose traduit la potentialité de la technologie (Hammes-Adelé, 2011) en termes d'utilité des fonctions proposées (Quiguer, 2013). Les fonctionnalités doivent être en adéquation avec les objectifs de l'utilisateur, qui réalise une tâche définie, dans un contexte socio-organisationnel spécifique (Brangier & Hammes, 2007). L'analyse du travail permet d'évaluer le besoin de l'opérateur pour une fonctionnalité donnée (Hammes-Adelé, 2011). Il s'agit également de se questionner sur la possibilité de l'artefact de porter la fonctionnalité d'un point de vue technique (Brangier et al., 2010). Cette variable inclut la concrétisation de la fonctionnalité par la technologie, le modèle mental que l'Homme associe

à la réalisation de cette fonctionnalité et la tâche à accomplir à partir de cette fonctionnalité (Hammes-Adelé, 2011).

- **L'utilisabilité du système**, telle qu'envisagée dans les modèles de l'ingénierie de l'utilisabilité (cf. II.2.3)

Elle traduit la perception de la facilité d'usage (Brangier & Hammes, 2007). Elle peut être évaluée à travers les critères d'efficacité (qualité du résultat attendu), d'efficience (ratio résultats/efforts) et de satisfaction (évaluation subjective). Elle repose sur la compatibilité entre les caractéristiques de la technologie et celles de l'utilisateur (Hammes-Adelé, 2011), en situation d'usage.

- **Les régulations**

Ce sont des accommodements, des compromis entre les pôles du triptyque utilisateur-technologie-contexte socio-organisationnel (Brangier, 2002). Cette variable inclut les adaptations psychosociales et psychologiques de l'utilisateur, l'adaptabilité de la technologie à la situation d'usage et les modifications collectives induites par l'introduction de la technologie (Hammes-Adelé, 2011). Cette dimension de la symbiose traduit les changements liés aux comportements socio-organisationnels (appropriation, rejet, résistance, innovation sociale etc.) construites par l'homme dans son contexte socio-organisationnel modifié par les technologies (Brangier et al., 2010). Il peut s'agir de décision collective dans l'organisation du travail, d'actions de formation à l'utilisation des dispositifs, de redistribution des tâches etc.

L'action sur ces 3 dimensions de la symbiose, appliquées aux pôles du triptyque utilisateur-technologie-contexte socio-organisationnel, permet d'optimiser la technosymbiose (Brangier, 2002 ; Quiguer, 2013) et donc l'adoption technologique.

Dans la technosymbiose, la relation Homme-technologie possède 6 grandes caractéristiques (Hammes-Adelé, 2011) :

(1) elle est située. L'utilisateur appartient à un contexte socio-organisationnel qui participe à la construction de la symbiose. L'usage du dispositif considéré est l'usage réel et ancré (Brangier, 2002).

(2) elle est réciproque. Homme et technologie évoluent mutuellement dans des liens de forte dépendance. L'Homme conçoit des machines et se développe en les utilisant, dans une boucle de coévolution (Brangier et al., 2010).

(3) elle est durable. La relation entre l'utilisateur situé et le système se construit sur des temps longs. L'adoption technologique a une dimension temporelle importante, comme dans l'approche instrumentale (cf. II.3.2)

(4) elle est dynamique. La symbiose est un processus (Brangier, 2002), pas un état stable. L'équilibre dans les interactions entre l'utilisateur, la technologie et le contexte socio-organisationnel est en constant mouvement (Brangier et al., 2010). Une perturbation sur un sommet du triptyque entraîne une évolution de la symbiose (Quiguer, 2013).

(5) elle est multifactorielle. La relation Homme-technologie dépend d'un grand nombre de facteurs complexes et en interaction.

(6) elle est peu rationnelle. L'utilisateur ne se base pas forcément sur des évaluations logiques (Quiguer, 2013). Il n'est pas face à une technologie externe qu'il doit accepter ou rejeter. Cette caractéristique peut être rapprochée de la genèse instrumentale.

3.2.3. L'acceptation située

L'acceptation située est développée par Bobillier Chaumon dans le tournant des années 2010. Ce cadre conceptuel récent s'appuie d'une part sur les théories de l'appropriation technologique tels que la genèse instrumentale de Rabardel (1995) et les travaux d'Akrich (1998), d'Orlikowski (2000) et de Dourish (2003) ; et d'autre part sur les modèles de l'activité et de l'action située avec des auteurs tels que Leontiev (1975), Vygotski (1997), Engeström (1987) et Suchman (1987) (Bobillier Chaumon, 2016).

Bien que la théorie fasse un renvoi explicite au terme d'acceptation, l'adoption technologique y est envisagée sur un continuum de la conception à l'usage, au travers de l'acceptabilité et de l'acceptation. L'adoption trouve ses fondements dans la conception, par la prise en compte de l'usager et de l'usage. Puis elle poursuit sa construction dans l'utilisation effective de la technologie. L'usage s'inscrit dans l'activité de l'utilisateur qui entraîne une évolution de l'acceptabilité du dispositif. Le terme situé souligne que l'usage est ancré dans le réel de l'activité de l'utilisateur, représenté comme un acteur de cet usage (Bobillier Chaumon, 2013).

La théorie de l'acceptation située vise donc à étudier l'utilisation effective de la technologie et ses effets (positifs et négatifs), de manière contextualisée (Cippelletti, 2017) avec une certaine exhaustivité (Quiguer, 2013). Elle porte l'accent sur les effets (positifs et négatifs) de l'usage du dispositif sur l'activité de l'individu. Ce sont ces effets qui vont conditionner le développement du processus d'adoption de la technologie. Le modèle propose ainsi de classer

les facteurs de l'acceptation en dimensions (Bobillier Chaumon & Dubois, 2009). Quatre dimensions sont proposées (Bobillier Chaumon, 2013) :

- **La dimension personnelle** (individuelle)

Cette dimension traduit les effets de l'utilisation en considérant l'utilisateur de façon isolée et dans sa composante cognitive. Cette composante englobe 2 « sous-dimensions ». (i) Premièrement la charge cognitive, qui est liée au traitement de l'information véhiculée par la technologie. Cette charge a 3 origines : la densification de l'activité, son intensification et la sollicitation insuffisante des compétences. La densification de l'activité correspond à une surcharge quantitative de travail. La technologie peut par exemple augmenter le volume d'informations à traiter, les délais de traitement ou transformer la nature de cette information. L'utilisation de l'artefact peut notamment induire des temporalités croisées des tâches, de la concurrence entre elles ou leur interruption (Bobillier Chaumon, 2016). L'intensification de l'activité est une surcharge qualitative qui se matérialise par la nécessité de développer de nouvelles compétences pour réaliser l'activité. La dimension individuelle accorde également de l'importance à la sous-charge, qui se traduit par une sollicitation trop faible de l'utilisateur et de ses compétences.

(ii) Deuxièmement, la charge affective. L'utilisation de la technologie peut entraîner un inconfort émotionnel, une prescription des émotions ou empêcher certaines d'être elles. Les émotions positives sont également analysées comme le plaisir ou la satisfaction (Bobillier Chaumon & Dubois, 2009).

- **La dimension interpersonnelle** (relationnelle)

Cette dimension s'intéresse aux relations entre les utilisateurs et les autres individus à travers les notions de collectif et de réseaux de travail. Elle concerne les facteurs collectifs et sociaux. Sont appréhendés les effets de l'utilisation sur le rôle et les fonctions de chacun (Bobillier Chaumon & Dubois, 2009), la collaboration et la concurrence entre les individus etc. L'usage de la technologie peut reconfigurer les réseaux sociaux et la place de chacun en termes de pouvoir, de positionnement et de marges de manœuvre (Bobillier Chaumon, 2016).

- **La dimension métapersonnelle** (organisationnelle)

Cette dimension renvoie aux effets de l'utilisation sur les relations entre l'utilisateur et l'organisation au sens structurelle (règles, procédures etc.). Elle porte sur les questions de prescription de l'activité, de contrôle du travail et d'autonomie des utilisateurs. L'implémentation de la technologie peut induire des conséquences sur le pouvoir et les marges de manœuvre dont dispose l'utilisateur (Bobillier Chaumon, 2013).

- **La dimension transpersonnelle**

Cette dimension traduit les effets de l'utilisation de la technologie sur la dimension identitaire et professionnelle de l'utilisateur (Bobillier Chaumon, 2016). Ce dernier est considéré de façon isolée, dans sa composante de structuration de sa personnalité professionnelle. La dimension transpersonnelle évalue les conséquences sur l'utilisateur en termes de sens du travail, de responsabilités, de reconnaissance, d'activité empêchée etc. (Bobillier Chaumon & Dubois, 2009). Sur ce volet, les impacts sur les compétences de l'utilisateur occupent une place importante.

3.3. Quatre caractéristiques centrales

Ces 3 approches (genèse instrumentale, technosymbiose et acceptation située) s'intéressent à l'adoption technologique en lien étroit avec le concept d'activité. Elles partagent ainsi des visions communes sur l'utilisateur et le processus d'adoption technologique. Quatre points communs nous semblent centraux : (i) l'utilisateur vu comme un acteur du processus, (ii) l'adoption envisagée comme (ii) située et (iii) systémique, et (iv) le caractère dynamique de l'adoption dès la conception.

3.3.1. L'utilisateur, acteur de l'adoption technologique

Ces 3 cadres conceptuels s'opposent à l'idée d'un déterminisme technologique dur selon lequel le dispositif s'imposerait de façon directe et brutale à l'utilisateur. Son activité est certes transformée par la technologie mais celle-ci en est un déterminant parmi d'autres. Elle constitue une condition externe et technique influençant l'activité de l'utilisateur (cf. II.3.1), plus qu'une force causale unique et inéluctable. La technosymbiose insiste sur l'interdépendance entre la technologie et l'utilisateur. Le système à lui seul ne structure pas l'activité. C'est bien l'interaction entre système et individu qui est au centre des attentions. La technologie est vue comme un prolongement de l'humain et de l'organisation (Jawadi, 2014). L'utilisateur n'est pas un receveur passif qui subit la technologie (Bobillier Chaumon & Dubois, 2009) et qui aurait seulement le choix entre 2 alternatives extrêmes : l'acceptation ou le rejet du dispositif en l'état (Moreiro, 2017). Il est plutôt appréhendé comme un acteur de l'utilisation (Jouët, 2000). L'approche instrumentale souligne son inventivité et sa subjectivité (Béguin & Rabardel, 2000) dans sa poursuite de buts et de mobiles (Folcher & Rabardel, 2004). Il fait évoluer ses schèmes d'utilisation (instrumentation) et transforme l'artefact (instrumentalisation) au cours de la genèse instrumentale. Dans la symbiose, à travers le concept de régulations, l'utilisateur s'adapte (psychologiquement et psychosocialement) et adapte la technologie à la situation.

Darses (2016) parle « d'hybridation » entre usager et numérique. Dans l'acceptation située, l'utilisateur ressent, analyse et réagit aux effets de l'utilisation de la technologie sur son activité. L'évaluation qu'il fait de la technologie sur les 4 dimensions peut être contrastée. Par exemple, l'utilisation peut induire une densification de son activité tout en lui donnant plus de pouvoir et de reconnaissance dans le système socio-organisationnel. L'individu analyse les effets de l'utilisation et régule son activité pour réaliser des actions finalisées par des buts précis (Burkhardt & Sperandio, 2004). La focale ne se porte plus sur l'adoption de la technologie mais l'adoption des nouvelles pratiques liées à l'utilisation de l'artefact (Bobillier Chaumon et Clot, 2016 ; Caroly, 2007), dans une perspective située et systémique.

3.3.2. Une approche située de l'adoption

Ces 3 cadres conceptuels accordent une place importante au caractère situé de l'utilisation de la technologie et donc de son adoption. L'approche instrumentale voit le sujet comme étant socialement situé (Folcher & Rabardel, 2004) et engagé dans son activité qui s'inscrit dans un environnement qui rassemble des conditions déterminant l'activité. L'étude du rapport entre sujet et instrument se base sur l'usage réel des artefacts. L'adoption technologique est donc analysée dans les situations effectives d'utilisation. La technosymbiose décrit un triptyque utilisateur-technologie-organisation. L'utilisateur appartient donc à un contexte socio-organisationnel qu'il faut comprendre (Bornet & Brangier, 2013). La théorie de l'acceptation située place l'adoption technologique dans l'activité réelle, inscrite dans un contexte à la fois organisationnel, social, sociétal historique et culturel (Bobillier Chaumon, 2013 ; Lassalle et al., 2016). Ainsi, au regard de ces 3 approches, l'adoption technologique est fortement liée au contexte dans lequel elle se construit, considérant l'utilisateur comme étant en interaction avec d'autres individus et avec une structure organisationnelle (règle, procédure, répartition des tâches etc.). L'approche située est particulièrement importante dans le domaine agricole, où les changements de pratiques sont fonction de nombreux paramètres contextuels tels que le milieu pédoclimatique et agroécologique ou encore l'organisation économique et sociale locale (Guillou et al., 2013).

3.3.3. Une approche systémique de l'adoption

Ces 3 approches prônent une vision systémique de l'Homme, envisagé dans ses multiples dimensions. Par exemple, l'acceptation située est étudiée sur 4 grandes dimensions

en tenant compte (i) des interactions entre l'utilisateur et les autres individus (ii) des interactions entre l'utilisateur et l'organisation (iii) de sa dimension cognitive et émotionnelle (iv) de sa construction identitaire au cours de l'activité. On peut toutefois regretter que la dimension biologique soit écartée. Cette perspective systémique se retrouve dans la schématisation 5 carrés (cf. II.3.1), traduisant la volonté de l'ergonomie de prendre l'Homme dans sa globalité (Daniellou, 2006). Pour comprendre l'adoption technologique, une approche holistique est nécessaire (Eastwood et al., 2013 ; Reerink-Boulanger, 2012) en tenant compte du caractère complexe (Hammes, 2011) et dynamique de l'adoption.

3.3.4. L'adoption technologique : un processus dynamique dès la conception

Dans ces 3 cadres théoriques, l'adoption technologique n'est pas perçue comme un état stable mais comme un processus dynamique qui trouve ses fondements dès la conception du système. L'approche instrumentale présente la construction de la relation du sujet avec l'artefact via le concept de genèse instrumentale. Par des étapes d'instrumentation et d'instrumentalisation, cette approche insiste sur le caractère évolutif de la relation utilisateur-technologie. De même, la technosymbiose annonce explicitement que les interactions entre les 3 pôles du triptyque utilisateur-technologie-contexte socio-organisationnel sont en mouvement permanent. Un changement sur un des pôles du triptyque entraîne une transformation de la relation de symbiose. Dans l'acceptation située, l'usager évalue régulièrement les effets de l'usage dans son activité. L'adoption se construit l'activité, qui est en développement perpétuel (Kuutti, 1996, cité par Bornet & Brangier, 2013). Une grande quantité de facteurs induit d'incessantes variations dans l'activité (Daniellou & Béguin, 2004) et donc dans l'adoption. Cette dernière est envisagée comme un processus dynamique (Duthoit & Mailles-Viard Metz, 2012 ; Caroly, 2007), non linéaire, incertain (Bobillier Chaumon, 2013). L'utilité, l'utilisabilité et l'acceptabilité peuvent donc varier au cours du temps (Barcenilla & Bastien, 2009 ; Martin, 2018 ; Loup-Escande, 2010). Ainsi, l'adoption technologique démarre dans la conception, se poursuit dans l'implémentation et se renouvelle dans l'activité (Bobillier Chaumon, 2013). Analyser l'adoption au prisme de l'activité conduit à s'intéresser à l'artefact dès la phase de conception.

L'ensemble de ces approches conceptuelles (modèles « classiques » et en lien avec le concept d'activité) sont des outils pour comprendre l'adoption des technologies en situation professionnelle. Pour transformer les situations, l'ergonomie s'appuie sur une diversité de

moyens et de méthodes. La prochaine section présente les bases théoriques de 4 actions ergonomiques, déployées dans le cadre du projet VitiOptimum.

4. Actions ergonomiques pour l'adoption technologique

L'adoption technologique peut être considérée comme un cas d'application spécifique de l'ergonomie. En 2000, l'IEA (International Ergonomics Association) définit l'ergonomie comme « la discipline scientifique qui vise la compréhension fondamentale des interactions entre les humains et les autres composantes d'un système, et la profession qui applique principes théoriques, données et méthodes en vue d'optimiser le bien-être des personnes et la performance globale des systèmes. Les praticiens de l'ergonomie, les ergonomes, contribuent à la planification, la conception et l'évaluation des tâches, des emplois, des produits, des organisations, des environnements et des systèmes en vue de les rendre compatibles avec les besoins, les capacités et les limites des personnes » (Falzon, 2004, p19). Ainsi, l'ergonomie n'ambitionne pas seulement de comprendre les systèmes sociotechniques de travail mais souhaite également les transformer. Les modèles théoriques de l'adoption technologique constituent un appui important pour le premier objectif de l'ergonomie (comprendre les systèmes sociotechniques de travail). L'ergonomie a également développé des méthodes pour répondre à son second objectif (agir sur les systèmes sociotechniques de travail).

La volonté de transformation se concrétise par une diversité d'actions ergonomiques. Plusieurs d'entre elles peuvent être engagées dans le cas spécifique de l'adoption technologique, à différentes étapes du processus, pour des objectifs particuliers. Quatre actions ergonomiques ont été mobilisées dans ce travail de thèse sur l'adoption technologique : intervenir dans le processus de conception, analyser l'activité des utilisateurs, tester les dispositifs techniques, simuler l'utilisation future des systèmes. Leurs fondations théoriques sont présentées ci-après.

4.1. Intervenir en conception

L'ergonomie a toujours eu pour objectif d'influencer la conception (Daniellou, 2004), étape clé dans la détermination des situations de travail et donc de l'usage des dispositifs, notamment technologiques. La méthodologie d'accompagnement ergonomique (Lecoester et al., 2018) rassemble des connaissances, des méthodes et des pratiques pouvant être mobilisées

par l'ergonome intervenant (Daniellou & Béguin, 2004) dans un but de transformation de la conception (Landry, 2008). L'action ergonomique est caractérisée par 2 orientations : l'action *pour* la conception (qui a pour objectif la conception des systèmes en elle-même) et l'action *dans* la conception (qui s'intéresse aux acteurs de la conception). Ces deux orientations sont complémentaires et se nourrissent mutuellement (Béguin & Cerf, 2004). Les résultats empiriques de cette thèse concernent ces 2 orientations. Démarrées à la fin des années 1980, les modélisations de l'intervention en conception sont maintenant nombreuses en ergonomie (Garrigou et al., 2001 ; Laneyrie, 2015). Malgré leur diversité (Landry, 2008), elles présentent des dénominateurs communs.

4.1.1. Traits caractéristiques de l'intervention ergonomique en conception

Trois traits caractéristiques de l'intervention ergonomique en conception peuvent ainsi être décrits :

- **la double construction.** L'intervention ergonomique s'élabore à partir d'une construction à la fois technique (rassembler les éléments d'analyse de l'activité) et sociale (positionnement de l'ergonome auprès des autres acteurs de la conception). Cette double construction est nécessaire pour comprendre le travail et le transformer (Daniellou, 2004). Elle permet à l'ergonome d'influencer les décisions en apportant un regard sur les situations de travail présentes et futures (Landry, 2008).

- **la prise en compte du travail réel** à travers le concept d'activité (Daniellou & Béguin, 2004 ; Poley, 2015 ; Petit-Delecourt, 2018). L'intervention ergonomique vise à prendre en compte les activités humaines (Landry, 2008) et les placer au centre de la conception (Lecoester et al., 2018). L'ergonome porte les connaissances sur l'activité des utilisateurs (Burkhardt & Sperandio, 2004). L'analyse de l'activité (cf. II.4.2) est donc une de ses missions incontournables (Bastien & Scapin, 2004 ; Darses & Reuzeau, 2004). Elle concourt à la spécification du contexte d'utilisation des technologies (Loup-Escande et al., 2015) en rassemblant des informations sous différentes formes, telles que des scénarios ou des graphiques (Dejean & Naël, 2004). L'ergonome modélise l'activité et essaie d'en faire un déterminant fort du processus de conception (Béguin et Pueyo, 2011).

- **la rencontre de différents mondes professionnels.** L'intervention ergonomique s'insère dans une structure au sein de laquelle l'ergonome doit construire socialement son action, c'est-à-dire bâtir son positionnement via ses interactions avec les autres acteurs. L'ergonome doit également soutenir la rencontre de différents « mondes professionnels » (Daniellou et al., 2011). En effet, l'intervention mobilise une diversité d'acteurs (Daniellou & Béguin, 2004). Cette diversité se révèle sur un ensemble de paramètres, par exemple les rôles de chacun (concepteurs, utilisateurs, gestionnaire de projet, maîtrise d'ouvrage etc.), les enjeux qu'ils portent (économiques, techniques, réglementaires, sanitaires etc.), leurs compétences, leur position hiérarchique ou encore les disciplines scientifiques auxquelles ils appartiennent. Cette rencontre entre mondes professionnels est particulièrement importante dans les projets de conception en agriculture, domaine dans lequel le fossé entre développeurs et utilisateurs est grand (Lamb et al., 2008). L'articulation de ces mondes professionnels ne se fait pas toute seule (Daniellou et al., 2011). L'ergonome a pour objectif de contribuer à construire un monde commun (Béguin & Cerf, 2004), pour faire travailler ensemble des acteurs qui n'ont pas ni le même vocabulaire, ni les mêmes objectifs, ni les mêmes contraintes (Darses & Reuzeau, 2004), ou les mêmes représentations (Folcher, 2015).

4.1.2. Les représentations dans le processus de conception

Dans un projet de conception, les représentations portent sur différents objets. Trois grandes catégories peuvent être distinguées. Tout d'abord, les acteurs élaborent des représentations sur le processus de conception en lui-même : son but (Tricot & Plégat-Soutjis, 2003), les rôles et modes d'intervention de chacun, l'état d'avancement du projet, les solutions proposées (Cahour, 2002), les problèmes rencontrés, les échéances, les interactions entre les différents partenaires, les responsabilités etc. Les acteurs ont également des représentations de ce qui sera produit à l'issue de la conception (Cahour, 2002 ; Visser, 2009), c'est-à-dire une nouvelle organisation, un nouveau bâtiment ou une nouvelle technologie. Enfin, les acteurs élaborent des représentations sur les usagers et les usages (Cerf, 2001 ; Folcher, 2015), soit l'activité des utilisateurs. Ces représentations se rapportent à la fois à l'activité existante des utilisateurs et leur activité future, médiatisée par le dispositif en cours de conception. Peu de recherches sont menées sur ces représentations (Cerf, 2001). Ce travail de thèse s'intéresse aux représentations qu'ont les concepteurs de l'application téléphonique au sujet de l'activité existante de conseiller agricole (cf. III.2).

Les représentations jouent un rôle central dans le processus de conception. En effet, tout acteur est porteur de représentations sur les utilisateurs et les usages (Cerf, 2001). Elles constituent donc un aspect incontournable dans la conception. Or, ces représentations sont très variables d'un acteur à un autre, allant parfois jusqu'à être contradictoires (Folcher, 2015). Les représentations peuvent donc engendrer des décalages sociocognitifs entre acteurs de la conception (Cahour, 2002), et altérer leur travail en commun. De plus, les représentations sont rarement élaborées par les acteurs sur la base de l'analyse de l'activité réelle. Elles reposent le plus souvent sur les exigences des commanditaires (Chevalier et al., 2004), sur « le bon sens », sur l'expérience personnelle (Darses & Wolff, 2006), sur des représentants supposés des utilisateurs, sur des sondages d'opinions (Akrich, 1993), sur une identification aux futurs usagers (Nicolas, 2000, cité par Béguin et Pueyo, 2011) etc. Le risque d'un fossé, entre ces représentations et l'activité réelle révélée par l'analyse ergonomique, est alors fort (Garrigou et al., 1995). Les concepteurs sont par exemple à même de sous-estimer la diversité des situations de travail, ou de mal définir les utilisateurs, en les considérant à travers de « l'homme moyen » (Caroly, 2007 ; Cerf, 2001). Cet écart entre représentations et activité réelle se matérialise dans les produits issus de la conception. C'est ce que Béguin (2007) appelle « la cristallisation ». Il prend l'exemple de conception d'un bâtiment. Si la représentation de l'utilisateur n'inclut pas celle de la personne à mobilité réduite, les risques de problèmes d'accessibilité du bâtiment sont forts. Cet écueil de cristallisation de représentations décalées de l'activité réelle est marqué en agriculture, du fait de la méconnaissance du travail agricole (Chizallet, 2019 ; Béguin & Pueyo, 2011). Cet écueil induit le risque d'une conception inefficace (Garrigou et al., 1995) conclue par l'émergence d'un artefact peu adapté à l'activité des utilisateurs, et donc peu adopté.

Ainsi, il est important de comprendre et d'agir sur les représentations. Pour Visser (2009), la conception s'apparente à une « activité de construction de représentations ». Pour répondre à son objectif d'influencer la conception, l'ergonome peut donc influencer les représentations (Daniellou & Béguin, 2004). Son action sur les représentations est une action *dans* la conception (Béguin & Cerf, 2004). Elle repose sur la compréhension de représentations existantes, sur l'élaboration de représentations de l'activité existante ou future (Falzon, 2005) et sur la modification de représentations de certains acteurs (Garrigou et al., 1995), dans une visée « d'ajustement cognitif » (Cahour, 2002) entre les acteurs de la conception. La partie III.2 de cette thèse illustre cette action ergonomique.

4.2. Analyser l'activité des utilisateurs

En ergonomie, l'analyse de l'activité est une démarche pour comprendre et expliquer les situations de travail et d'usage (Gaillard, 2014). Elle représente donc un outil central pour soutenir la prise en compte du travail réel dans l'intervention ergonomique. L'analyse de l'activité est une méthodologie qui vise à comprendre, dans une situation donnée, ce que font les opérateurs (Garrigou et al., 1995). Elle rend compte de la richesse et de la complexité de l'activité d'acteurs en situation réel de travail (Jourdan, 1990). Elle débouche sur une description étayée (Darses, 2016 ; Bastien & Scapin, 2004), sur un « portrait objectivé » selon l'expression de Teiger (2007, citée par Landry, 2008).

4.2.1. La nécessité d'analyser l'activité viticole

L'ergonomie considère que la transformation des pratiques s'appuie d'une part sur une compréhension de l'activité des sujets, et d'autre part sur un ensemble de méthodes pour agir sur le système sociotechnique de travail (Gaillard, 2014 ; Landry & Feillou, 2008). Ce constat est d'autant plus vrai en agriculture. Plusieurs recherches soulignent que le nécessaire changement de pratiques agricoles (cf. I.3.1) passe par l'intégration de l'activité des agriculteurs (voir par exemple Ambrosio et al., 2006 ; Béguin & Pueyo, 2011 ; Bournigal et al., 2015 ; Chizallet, 2019 ; Lamb et al., 2008 ; Petit-Delecourt, 2018 ; Rossi et al., 2014). Comme le résume bien Léméry (2003, p13) : « Le devenir de l'agriculture dépend de ce que font les agriculteurs ». Se pose alors la question de la façon de prendre en compte le travail des agriculteurs (Béguin & Pueyo, 2011). La prise en compte du travail réel passe d'abord par une meilleure compréhension de celui-ci. L'analyse de l'activité pour la conception devient alors un outil intéressant pour comprendre le travail des opérateurs finaux, par exemple des utilisateurs d'un futur système technique (Béguin & Cerf, 2004). Cette méthodologie prend toute son importance en agriculture, où l'activité est peu investiguée dans les recherches (Hostiou et al., 2006) et peu connue (Béguin et al., 2011 ; Béguin & Pueyo, 2011).

L'analyse de l'activité peut porter sur différentes facettes de l'activité : les stratégies développées, les interactions avec les autres, la recherche d'informations, la prise de décision, les postures, les efforts biomécaniques, les communications (Garrigou et al., 1995), les modes de raisonnement, les arbitrages (Haradji & Faveaux, 2006 ; Rossi et al., 2014) etc. L'analyse est effectuée grâce au déploiement d'outils (Laneyrie, 2015).

4.2.2. Les outils de l'analyse de l'activité

Les outils pour appréhender l'activité en vue de son analyse sont nombreux : observations papier-crayon, entretiens (Cheyrouze & Barthe, 2018 ; Chadoin et al., 2016), recueil de « paroles *dans* le travail » et de « paroles *sur* le travail », traces écrites de l'activité comme des courriels (Grosdemouge, 2017), enregistrements vidéo de l'activité (Hittinger, 2015), observations couplées à de la métrologie physiologique (Judon, 2017), enregistrements vidéo couplés à des mesures d'exposition chimique, entretiens de confrontation (Galey, 2019) ou d'auto-confrontation (Gaillard, 2014) etc. Ces outils peuvent être utilisés de façon combinée dans une visée de triangulation (Leplat, 2002 ; Grosdemouge, 2017).

Le choix de l'outil pour l'analyse de l'activité dépend du contexte (nature de l'activité, orientation sur une dimension de l'activité en particulier, temps disponible pour réaliser l'analyse, accès aux situations de travail, matériel disponible etc.). Le projet VitiOptimum vise le déploiement de technologies à destination du conseiller agricole et du viticulteur. Ces machines à base de traitement de l'information (Rabardel, 1995) engendrent de profondes transformations dans la dimension cognitive de l'activité, notamment les stratégies de prise de décision. D'une approche intuitive et tacite, souvent basée sur l'expérience, la prise de décision concernant les pratiques agricoles évolue vers l'intégration de données objectives comme support du raisonnement (Eastwood et al., 2013). L'analyse de l'activité accorde donc une place importante aux raisonnements et aux prises de décision pour les interventions sur les cultures (Cerf & Sagory, 2004 ; Larbaigt et al., 2020). Ces aspects cognitifs et sociocognitifs de l'activité appartiennent à l'activité qui n'est observable qu'en partie seulement (Cheyrouze & Barthe, 2018). L'entretien apparaît alors comme un outil adapté, pour accéder à la dimension cognitive de l'activité (Falzon, 1998 ; Poupon, 2017). Pour la conception de l'application téléphonique, l'analyse de l'activité de conseiller s'est appuyée sur des entretiens menées au cours du travail réel, sur des journées complètes de visites de parcelles (cf. III.2). Cette approche permet le recueil de données pertinentes et soutient la construction sociale de l'intervention. Pour la conception du système d'information géographique (SIG), l'analyse de l'activité de viticulteur a été abordée par entretiens (cf. III.1).

Ces entretiens visent à comprendre le sens que les viticulteurs donnent à leur action (Nicourt, 2016), en particulier leurs prises de décision pour intervenir sur les cultures. A travers

ce qu'expriment les viticulteurs (Léméry, 2011), l'objectif est de recueillir des informations sur les pratiques d'intervention culturelles. Pour atteindre cet objectif, la méthodologie des entretiens d'explicitation (Vermersch, 2010) a été retenue. Ces entretiens semi-directifs s'inscrivent dans une perspective qualitative (Valdivieso Larrain, 2012). Le viticulteur est invité à verbaliser son action (Vermersch, 2010), c'est-à-dire à commenter, expliquer et décrire ses pratiques. L'entretien n'a pas lieu au cours de l'activité mais à posteriori. L'entretien d'explicitation est une technique indirecte de récolte de données sur l'activité (Gaillard, 2014). La verbalisation de l'action n'est ni habituelle, ni naturelle (Vermersch, 2010). L'intervieweur doit donc accompagner l'interviewé et guider sa mise en mots (Cheyrouze & Barthe, 2018) en le replongeant dans son activité passée (Cahour et al., 2005, cités par Poupon 2017). L'intervieweur se positionne comme un analyste (Loup-Escande, 2010) qui tente d'établir une relation de co-construction des connaissances avec l'interviewé. Trois grands aspects apparaissent comme centraux dans la réalisation des entretiens. Tout d'abord, il s'agit de savoir écouter ce que le participant verbalise. Ensuite, il s'agit d'orienter l'entretien. Cet aspect revêt deux dimensions. Premièrement, l'intervieweur conduit l'entretien sur la base d'un guide. Les questions sont relativement courtes. Elles s'enchaînent dans un ordre adaptable aux verbalisations de l'interviewé. L'intervieweur doit encourager la verbalisation de l'activité autour des thématiques ciblées. Deuxièmement ce but de centrer les débats ne doit pas entraver l'expression du sujet. L'intervieweur reste très peu directif pour favoriser des verbalisations spontanées sur l'activité et sur des thématiques périphériques proches de celles de l'entretien. Enfin la réalisation de l'entretien passe par des actions de relance tout en minimisant l'influence de l'intervieweur. L'objectif est de soutenir l'expression orale du participant pour approfondir le discours et recueillir des précisions sur l'activité. Les relances sont notamment constituées de questions, de reformulations et de partages d'expériences sur les thématiques ciblées. Par exemple, le guide contenait des questions sur les aléas lors de la réalisation des interventions sur les parcelles (cf. III.1.2). Les relances sont ouvertes avec des formules du type « Vous pouvez me raconter comment s'est passée cette situation ? » (Poupon, 2017 ; Valdivieso Larrain, 2012).

4.3. Tester les dispositifs techniques

En ergonomie, la phase de test est une étape importante dans le processus de conception technologique (Bastien & Scapin, 2004). Plusieurs méthodologies peuvent être déployées. Le but est de repérer les aspects négatifs du système qui pourraient entraver son adoption.

L'objectif final est de proposer des modifications pour augmenter la qualité interactive de la technologie (souvent en termes d'utilité et d'utilisabilité pour l'utilisateur final) et donc favoriser son acceptabilité. Parmi les méthodologies de test, proches des modèles de l'ingénierie de l'utilisabilité (cf. II.2.3), on peut distinguer les méthodes de tests qui n'impliquent pas les utilisateurs, telle l'inspection ergonomique, et celles qui les impliquent, tels les tests utilisateurs (Grondin et al., 2002).

4.1. L'inspection ergonomique

L'inspection ergonomique est une méthode qui s'applique aux caractéristiques des interfaces technologiques (Grondin et al., 2002). L'évaluateur peut être un spécialiste des facteurs humains, un ergonomiste, un psychologue ou un concepteur. L'inspection repose sur des recommandations (Yu et al., 2019) dont la nature est variée. Deux grandes catégories de recommandations se dessinent : les normes ISO et les critères ergonomiques.

Plusieurs normes, élaborées par l'International Organization for Standardization (ISO), peuvent guider l'inspection ergonomique de l'interface technologique. La norme ISO 9241-110, intitulée « principes de dialogue », occupe une place importante. Elle est spécifique au dialogue humain-machine. Sept principes sont décrits. Le premier est l'adaptation à la tâche (le dialogue permet de réaliser la tâche de façon efficiente et efficace). Le deuxième renvoie au caractère auto-descriptif du dialogue (le dialogue est compréhensible et propose un retour d'information/ feedback). Le troisième préconise que l'utilisateur ait le contrôle de la direction et du rythme lors de l'interaction avec la technologie. Le quatrième souligne que l'interface doit être conforme aux attentes de l'utilisateur. Le cinquième préconise un système tolérant aux erreurs. Le sixième souligne que l'interface doit pouvoir être individualisée en fonction du profil de l'utilisateur (ex : utilisateur expérimenté). Enfin, le septième et dernier principe insiste sur la facilité d'apprentissage (Bastien & Tricot, 2008).

L'inspection ergonomique d'une technologie sur la base d'heuristiques et de critères ergonomiques est un courant riche dans le domaine des interactions homme-machine (IHM). L'évaluation porte sur l'utilité et surtout l'utilisabilité du dispositif. Plusieurs listes de critères sont proposées par différentes équipes de recherche. Les plus célèbres sont probablement les heuristiques de Nielsen de 1994 et les critères ergonomiques de Bastien et Scapin de 1993 (pour d'autres modèles, voir Bastien & Tricot, 2008). Nielsen propose 7 principes majeurs (cf.

Annexe 2.A) : visibilité du statut du système, correspondance entre le système et le monde réel, contrôle de l'utilisateur et liberté, cohérence et norme, prévention des erreurs, reconnaissance plutôt que rappel, flexibilité et efficacité de l'utilisation. Bastien et Scapin (1993) listent 20 critères génériques, regroupés dans 8 catégories (cf. Annexe 2.B): guidage, charge de travail, contrôle explicite, adaptabilité, gestion des erreurs, homogénéité/cohérence, signification des codes & dénominations, compatibilité. Le développement de ces critères et leur utilisation fait l'objet de recherches actuelles (voir par exemple Perret et al., 2017 ; Perret, 2018).

4.2. Les tests utilisateurs

Le test utilisateur peut se définir comme « une procédure d'évaluation d'une IHM » (Deconde, 2009) qui suit une méthodologie expérimentale (Burkhardt & Sperandio, 2004). Tout comme l'inspection ergonomique, l'objectif est d'identifier les points négatifs de la technologie. La différence réside dans la base de l'identification. Elle ne repose plus sur des recommandations, comme des normes ou des critères, mais sur des difficultés d'usage rencontrées par les participants au test (Grondin et al., 2002) et repérées par l'expérimentateur. La mise en œuvre de test utilisateur se compose de 6 grandes étapes : définition des objectifs, choix et recrutement des participants, définition des scénarios (tâches à accomplir, données recueillies etc.) et conception du protocole, passation des tests et recueil des données, analyse et communication des résultats.

La première étape est la définition des objectifs. Le test peut par exemple avoir une visée exploratoire, d'évaluation ou de validation. Le déploiement du test (scénarios, outils mobilisés, données recueillies etc.) doit répondre à l'objectif fixé, c'est-à-dire à un ensemble défini de questions. Les tests utilisateurs menés dans le cadre de thèse (cf. III.4) ciblent l'évaluation de l'acceptabilité, d'un point de vue matériel (hardware) et logiciel (software), d'une technologie, de type wearable, déjà conçue.

La deuxième étape est le choix et le recrutement des participants. Dans la méthode de test utilisateur, les individus mobilisés ne sont plus des évaluateurs (spécialistes ou non des facteurs humains) mais des participants, plus ou moins représentatifs des utilisateurs finaux. Ils peuvent relever du grand public ou de catégories plus spécifiques, engagés dans une activité particulière (Deconde, 2009). La question des participants fait l'objet de nombreux travaux, initiés dès les années 1980 et toujours actifs. La finalité est que chaque problème soit signalé

par au moins un participant. La participation des utilisateurs finaux est la méthode la plus sûre pour atteindre cette finalité. Elle est aussi la plus coûteuse, en termes de moyens humains, temporels et financiers. Les tests peuvent également se dérouler jusqu'à ce qu'un participant donné ne remonte uniquement des problèmes déjà identifiés par des participants précédents. Enfin, plusieurs petits groupes, composés de participants différents, peuvent se succéder, entrecoupés par des phases de correction des problèmes repérés. Les passations peuvent être individuelles ou collectives, par exemple par paire de participants (Bastien & Tricot, 2008). Lors des tests menés pour le projet VitiOptimum, le choix s'est porté sur la participation d'utilisateurs finaux, c'est-à-dire des conseillers agricoles (cf. III.4). Compte-tenu des conditions de test (une seule paire de lunettes intelligentes de réalité augmentée disponible, charge de travail des conseillers...), les passations ont été individuelles. L'échantillon idéal n'existe pas mais la mobilisation d'utilisateurs cibles est à privilégier. Si les participants ne sont pas les futurs usagers effectifs, le test perd de sa valeur (Deconde, 2009).

La troisième étape est la définition des scénarios de test. Concernant les tâches, 2 voies s'offrent généralement à l'expérimentateur, entre l'exploration libre d'une part, et des tâches représentatives des futures actions à accomplir avec la technologie d'autre part (Bastien & Tricot, 2008). La définition des tâches revêt une grande importance (Deconde, 2009). Dans les tests menés pour le projet VitiOptimum, les tâches expérimentales avaient pour objectif de s'approcher le plus possible de l'utilisation prévue des lunettes connectées. En ce sens, ont été conçues des tâches de parcours pédestre et d'enregistrement vocal. De plus, le recueil de données est capital dans l'organisation des tests. Généralement, il concerne des indices variés de performance (temps d'accomplissement d'une tâche, exactitude résultats, nombre et type d'erreurs...) et des verbalisations, suscitées ou exprimées spontanément par les utilisateurs (Dillon & Morris, 1999 ; Grondin et al., 2002). De nombreux questionnaires sont alors mobilisables (voir Chin et al., 1988 ; Lallemand et al., 2015 ; Laugwitz et al., 2008 ; Lund, 2001 ; Veyrat, 2008). Dans les tests sur les lunettes connectées, des mesures objectives et subjectives ont été recueillies (Beitzel et al., 2016), sur le confort, la performance, et l'expérience utilisateur ressentie par le participant. Enfin, le lieu de passation est important. Ces tests se réalisent plus souvent en laboratoire ou sur terrain contrôlé (Brangier et al., 2010) que sur le terrain où sera effectivement utilisée la technologie (Knight et al., 2002). L'environnement est plus ou moins contrôlé et outillé (Bastien & Tricot, 2008).

L'expérimentateur doit trouver un compromis entre maîtrise des différents paramètres du test et ancrage des passations dans le contexte d'utilisation du dispositif (Deconde, 2009).

Les quatrième, cinquième et sixième étapes sont respectivement la passation des tests, l'analyse et la communication des résultats. Les tests utilisateurs peuvent donc soutenir l'anticipation de l'utilisation future des technologies (Cippelletti, 2017), tout comme des démarches de simulation.

4.4. Simuler l'utilisation future des dispositifs

L'ergonomie propose une approche anthropocentrée des processus de transformation. Pour favoriser l'adoption des dispositifs envisagés (techniques, organisationnels, architecturaux etc.), la conception se base sur l'activité des utilisateurs. L'ergonomie est alors confrontée à un paradoxe : la conception ne peut s'élaborer en référence à l'activité future qui n'existe pas encore. Deux voies principales peuvent servir à anticiper l'activité future. La première voie repose sur l'analyse prospective. L'objectif est d'étudier les situations existantes qui pourront servir de référence pour appréhender l'activité future. La deuxième voie repose sur l'analyse projective. Le but est alors de se projeter en essayant de simuler l'activité future (Béguin & Cerf, 2004). Ainsi la simulation est une des réponses au paradoxe de la conception (Van Belleghem, 2018).

4.4.1. La simulation en conception

Le terme de simulation est largement employé en conception. Il n'est pas spécifique à l'ergonomie. Une pluralité d'acteurs peut réaliser des simulations caractérisées par une diversité importante dans les approches, les données utilisées, les scénarios considérés et les objectifs visés. Par exemple, des processus industriels peuvent être simulés, de même que des processus économiques ou des flux (personnes, biens, ressources...). En ergonomie, la simulation concerne le travail futur. Elle vise l'anticipation de l'action et du fonctionnement de l'Homme. La focale ne se porte pas sur le dispositif en lui-même, mais sur son utilisation par les individus. Autrement dit, on ne s'intéresse pas au fonctionnement de l'artefact mais bien à l'interaction entre le sujet, sa tâche et le dispositif. La simulation est ainsi perçue comme un pan entier de la pratique de l'ergonome, pour intégrer le travail dans le processus de conception en dépassant la

production de recommandations basées sur des diagnostics (Béguin, 2004 ; Béguin & Cerf, 2004 ; Van Belleghem, 2018).

La simulation ergonomique est une méthode d'approche de l'action future des utilisateurs. Cette action n'est jamais complètement anticipable. Seuls les visages que pourrait prendre cette action future sont à même d'être raisonnablement envisagés. La simulation n'est pas prescriptive. L'objectif n'est pas de déterminer « la bonne façon » de mener la tâche à bien. Il s'agit plutôt d'appréhender les formes futures de l'action pour estimer si elles sont acceptables et s'assurer qu'il existe au moins un mode opératoire satisfaisant. Le but de la simulation est de mettre en œuvre l'action future, pour en évaluer les différentes formes possibles. L'évaluation concerne deux aspects centraux en ergonomie : les effets sur la santé de l'opérateur et les effets sur la performance. La simulation regroupe un ensemble d'essais qui visent à repérer les difficultés sur ces deux versants (Béguin, 2004 ; Daniellou, 2004, 2007).

Le terme de simulation ergonomique désigne des pratiques très hétérogènes (Daniellou, 2007 ; Van Belleghem, 2018). Béguin (2004) distingue trois grands axes de la simulation. Une première approche est la simulation cognitive. L'utilisateur et son action sont représentés par une modélisation qui peut être réalisée par l'ergonome. L'activité n'est alors pas jouée par un individu. La confrontation entre le sujet et la tâche n'est pas effective. Ce sont des modèles (de la tâche, de l'utilisateur et de l'environnement) qui sont mis en action dans les scénarios établis. Les modélisations peuvent être portées par des mannequins ou des programmes informatiques par exemple. Les utilisateurs ne sont pas physiquement présents (Daniellou, 2007). Les deux autres axes fournissent une relation plus directe entre sujet et tâche. Premièrement la simulation peut être langagière. Les scénarios se manifestent sous forme de récits de situations de travail. L'opérateur est invité à verbaliser ce qu'il accomplirait. Deuxièmement, la simulation peut amener le sujet à jouer concrètement son action dans une situation qui matérialise la tâche et son environnement. On peut parler d'expérimentation ergonomique. Cette activité simulée est analysée par l'ergonome. C'est cette approche qui nous intéresse plus particulièrement dans le cadre de ce travail de thèse.

La simulation effective du travail futur peut prendre différentes formes selon un ensemble de paramètres opérationnels. Deux grands pôles peuvent être distingués, englobant une variété de pratiques intermédiaires : la simulation de l'activité et la simulation de la tâche.

4.4.2. La simulation de l'activité

La simulation de l'activité connaît, depuis ses premières modélisations au milieu des années 1980, un regain d'intérêt en ergonomie de l'activité. Dans ses utilisations initiales, la simulation de l'activité est largement mobilisée pour assister la conception des dimensions physiques des situations de travail (artefacts techniques, dimensions spatiales de postes de travail...). Ses applications ont aujourd'hui de plus larges perspectives, telles que la conception d'organisations ou de système de management (Van Belleghem, 2018).

La simulation se base sur des scénarios et des supports. Pour se rapprocher au plus près de la situation de travail envisagée, la description des scénarios a pour ambition d'être riche en informations telles que les contraintes de temps, le niveau de performance exigé ou les aspects collectifs de l'action (Béguin, 2004). Si la simulation peut s'effectuer à pleine échelle, c'est-à-dire grandeur nature, sur le terrain avec les opérateurs concernés, elle s'opère le plus souvent sur des supports réduits. Différents objets matériels peuvent être mobilisés : plans, maquette, prototype, environnement virtuel etc. (Béguin & Cerf, 2004 ; Daniellou, 2004). Le choix des supports n'est pas simple, chacun étant porteurs d'avantages et de limites qui vont influencer le déroulement de la simulation (Béguin, 2004 ; Darses et al., 2001).

La simulation de l'activité fait intervenir les opérateurs finaux, c'est-à-dire les utilisateurs futurs des dispositifs conçus. Les participants sont ceux qui mettront en œuvre le dispositif conçu de façon effective (Folcher & Rabardel, 2004). Ils sont amenés à jouer leur propre rôle dans la situation simulée, par exemple à travers d'avatars (Van Belleghem, 2018). La simulation est alors une partie d'une démarche de conception participative plus globale, qui associe les utilisateurs futurs en tant qu'acteur de la conception. La simulation représente une occasion pour les participants d'appréhender l'activité future, tant pour tester cette situation que pour la ressentir (Daniellou, 2007). La démarche sert alors de soutien à la formation des opérateurs ainsi qu'au développement de leur pouvoir d'agir. Ainsi la simulation de l'activité est orientée à la fois vers les objets et les sujets. Elle soutient la conception des situations de travail et le développement des individus (Béguin & Cerf, 2004 ; Van Belleghem, 2018).

La simulation de l'activité permet donc d'appréhender l'action future avec une double contribution (sur les objets et sur les individus). Néanmoins, cette méthode souffre de limites

parmi lesquelles une potentielle difficulté d'opérationnalisation. En effet, la simulation de l'activité peut être compliquée à mettre en place. Un ensemble d'obstacles est possible :

- la situation à simuler est difficilement accessible, par exemple les activités militaires (Aaltonen & Laarni, 2017)
- la situation à simuler est difficilement observable, qu'elle soit rare (ex : évènement critique en anesthésie, Nyssen & de Keyser, 1998) ou non souhaitable (ex : accident industriel, Daniellou, 2007)
- la simulation se focalise sur les dimensions cognitives de l'activité, qui sont difficilement observables (Daniellou, 2007)

Dans le cadre du projet VitiOptimum, la future tâche d'identification des Eudémis présente deux obstacles à la mise en œuvre de la simulation de l'activité. D'une part, la situation à simuler est difficilement observable. En effet, la situation actuelle (identification des Eudémis réalisée directement sur les pièges disposés dans les parcelles) semble trop éloignée de la tâche future (identification des Eudémis sur des imagerie numériques transmises par le piège, cf. III.3.1). La situation existante ne peut donc pas constituer une référence pour mettre en pratique la simulation. D'autre part, la simulation se focalisera sur les dimensions cognitives au regard de la nature de la tâche (identification visuelle de cibles sur un support numérique). Pour appréhender l'action future, une alternative à la simulation de l'activité est la simulation de la tâche selon une méthodologie expérimentale en laboratoire. L'objectif est d'anticiper les usages et les difficultés associées dans la future situation de travail informatisé (Burkhardt & Sperandio, 2004). La démarche en laboratoire sert alors à prévoir la situation qui n'existe pas encore (Leplat, 1978).

4.4.3. La simulation de la tâche

Les études en laboratoire ont une histoire ancienne, s'inscrivant dans le courant de l'ergonomie des facteurs humains et de la psychologie ergonomique (Brangier et al., 2010). Parmi ces études, la simulation de l'action future prend les traits d'une expérience contrôlée (Daniellou, 2004). Il est alors possible d'isoler certains déterminants de la situation de travail pour en étudier les effets sur le comportement des sujets (Falzon, 1998). La conduite humaine est analysée au regard de la variation maîtrisée de facteurs déterminés (Clot & Leplat, 2005) présents dans la situation future anticipée (Burkhardt & Sperandio, 2004). Dans notre cas (cf. III.3), ces déterminants sont les traits visuels des imagerie envoyées par le piège (couleur,

taille, formes des items etc.). On souhaite étudier leurs effets sur la performance de la tâche d'identification (temps de réponse et taux d'erreur associé).

Le dispositif expérimental vise à simuler l'environnement de travail. Le scénario est constitué d'un ensemble de tâches à réaliser (Daniellou, 2007), simplifiées par rapports aux situations réelles (Leplat, 1978). La tâche est assimilable aux objectifs que le participant doit atteindre (Van Belleghem, 2018). Les supports mobilisés sont divers, allant du simple ordinateur personnel aux simulateurs plus complexes, par exemple ceux de conduite automobile (Lemercier & Cellier, 2008 ; Lemercier et al., 2016). Ainsi, la simulation de la tâche d'identification d'Eudémis sur les imageries envoyées par le piège (cf. III.3.1), repose sur une tâche de recherche visuelle de cibles sur ordinateur, au sein d'images (imitant celles qui seront transmises par le système en cours de conception), avec une manipulation contrôlée de leurs traits visuels (caractéristiques des distracteurs en termes d'antennes, de couleur, de forme et de taille).

La simulation de la tâche peut faire intervenir les opérateurs finaux (ex : pilotes d'avions). Il est également possible de recourir à des personnes recrutées spécifiquement, dont les caractéristiques sont proches de celles des utilisateurs finaux (Daniellou, 2007). Sélectionner un panel de participatif représentatif n'est pas aisé selon les caractéristiques des opérateurs finaux (compétences, niveau d'éducation, expérience etc.). Dans certains cas, le recours à des étudiants universitaires est envisageable. Les sujets de la simulation ne sont alors plus les personnes qui vont mettre en œuvre le dispositif conçu mais ceux qui vont le mettre à l'épreuve dans le contexte expérimental (Folcher & Rabardel, 2004). La simulation de la tâche d'identification d'Eudémis (cf. III.3.2) est réalisée par des étudiants universitaires, du fait du très faible nombre d'utilisateurs finaux (conseillers agricoles) accessibles dans le cadre du projet VitiOptimum.

La simulation de la tâche est une méthode propice à l'analyse des processus cognitifs (Daniellou, 2007). C'est donc une méthode appropriée pour simuler l'utilisation d'une technologie. Elle permet de comprendre les processus cognitifs sous-jacents mis en jeu lors de la réalisation de la tâche et ainsi évaluer la qualité de l'interaction (Deconde, 2009). L'objectif est de repérer les difficultés dans le traitement de certaines situations (Daniellou, 2004) pour soutenir la conception de technologies adaptées à l'humain (Brangier et al., 2010).

Ainsi la simulation de la tâche par la démarche expérimentale est pertinente pour accompagner le processus de conception technologique dans le cadre du projet VitiOptimum. Cette démarche a été déployée pour simuler la tâche d'identification d'Eudémis sur les images envoyées par le piège automatique. En fonction des traits visuels de ces images, la tâche a pu être évaluée en termes d'effets sur la performance (temps d'identification de la cible et taux d'erreur associé).

5. Problématique et démarche de recherche

Comme le montre le chapitre 1, l'agriculture française est dominée par le modèle dit conventionnel, basé sur la mécanisation et les intrants chimiques. Ce modèle montre ses limites, tant du point de vue environnemental, que technique, économique, social et sanitaire. La transformation des pratiques, ciblant en particulier la dépendance aux produits phytosanitaires, peut notamment passer par la suppression de ces produits, une meilleure application de ces intrants ainsi qu'une amélioration de la prise de décision des agriculteurs quant à leur utilisation. Parmi les moteurs du changement, le conseil agricole et le développement numérique sont jugés prometteurs. Pour concrétiser leur potentiel de transformation des pratiques agricoles, les technologies (logiciels, capteurs, imagerie, machines et robots agricoles, technologies de l'information et de la communication etc.) doivent être utilisées par les acteurs agricoles ciblés (conseillers et producteurs). Malgré leur fort développement, ces dispositifs restent peu adoptés par les agriculteurs. Les processus d'adoption technologique doivent être mieux cernés, pour mieux comprendre et développer l'utilisation des systèmes.

A travers la première partie du chapitre 2, les bases théoriques de l'adoption technologique, notion centrale de cette thèse, ont été présentées. Une revue de littérature axée sur 6 modèles « classiques » de l'adoption technologique (Innovation Diffusion Theory [IDT], Theory of Planned Behavior [TPB], les modèles de l'ingénierie de l'utilisabilité, les Technology Acceptance Models [TAM], l'Unified Theory of Acceptance and Use of Technology [UTAUT], Information System Success Model [ISSM]) a conduit à une synthèse critique de ces approches. L'analyse a d'abord montré les 2 apports majeurs de ces modèles. D'une part, ils ont posé les bases d'une approche anthropocentrée de l'adoption technologique, en opposition au déterminisme technologique pur. D'autre part, ces modèles ont permis de mieux comprendre le processus d'adoption en définissant des variables et en montrant leur influence.

Ensuite, l'analyse de ces modèles a révélé 3 principales limites de ces modèles. Tout d'abord, les variables identifiées sont trop nombreuses, appelant une restructuration dans la façon de les modéliser. Ensuite, les modélisations sont trop réductrices, oubliant certaines dimensions de l'Homme (biologique, cognitive, sociale, psychique) et négligeant les facteurs socio-organisationnels. Enfin, ces modèles ne considèrent pas l'activité de l'utilisateur, qui s'avère être un paramètre déterminant dans les processus d'adoption des systèmes.

La revue de littérature a alors porté sur 3 approches reliant l'adoption technologique au concept d'activité : l'approche instrumentale, la technosymbiose et l'acceptation située. Ces approches, plus récentes que les modèles « classiques », présentent des points communs. L'utilisateur est défini comme un acteur de l'adoption technologique et non plus comme un « récepteur passif » qui aurait le choix entre accepter la technologie ou la refuser en l'état. L'adoption est située dans l'usage de la technologie, ancré dans un contexte à la fois technique, organisationnel et social. Ces cadres conceptuels plaident pour une approche systémique de l'adoption technologique, perçu comme un processus complexe et dynamique. Enfin, la conception est vue comme une étape clé du processus d'acceptation. L'ensemble de ces théories a permis de mieux saisir les activités professionnelles instrumentées par des technologies et l'adoption de ces systèmes.

Si les théories de l'adoption technologique sont nombreuses, peu d'entre elles sont produites spécifiquement par l'ergonomie. **Ce travail doctoral vise à enrichir les connaissances sur l'adoption technologique dans une perspective ergonomique.** A partir du projet VitiOptimum ancré dans le milieu agricole, il s'agit de contribuer à l'objectif de compréhension des situations de travail et d'usage porté par l'ergonomie. Mais cette discipline affiche explicitement un autre objectif : transformer ces situations de travail et d'usage. A notre connaissance, peu de recherches en ergonomie sont développées sur l'adoption technologique, dans un contexte de développement numérique en agriculture. **Par l'application concrète de 4 actions ergonomiques (analyse de l'activité, intervention en conception, simulation et test utilisateur), ce travail de recherche engage une réflexion sur la pratique de l'ergonomie en faveur de l'adoption technologique.** Il s'intéresse à la problématique de l'adoption technologique, en essayant de comprendre (i) les facteurs qui peuvent influencer l'ensemble du processus ; (ii) les actions ergonomiques qui peuvent être mises en place pour favoriser ce processus. Cette thèse vise notamment à répondre aux questions de recherche :

Comment modéliser l'adoption technologique ? Comment agir en faveur de l'adoption technologique ?

Pour une meilleure visibilité du manuscrit, chacune des 4 actions ergonomiques déployées fait l'objet d'un chapitre empirique dédié (tableau 2). **Le premier chapitre** s'intéresse à l'action **d'analyse de l'activité de viticulteur**, en particulier les raisonnements pour intervenir sur les parcelles. L'objectif est de produire des connaissances sur cette activité, pour guider la conception du Système d'Information Géographique, afin de favoriser son adoption par les agriculteurs. Dans cette étude, nous occupons la position « d'analyste du travail réel des futurs utilisateurs ». La méthodologie des entretiens (N=5) a été retenue compte tenu de la nature de l'activité à analyser (raisonnement des agriculteurs pour les interventions culturales). **Le deuxième chapitre** traite de l'action **d'intervention ergonomique en conception**. L'objectif est d'étudier les apports de cette intervention, sur l'acceptabilité de l'application mobile pour conseiller agricole, à partir d'une pratique réflexive. Dans cette recherche-intervention, nous sommes positionnés comme des acteurs de la conception, auprès des autres membres de l'équipe (2 concepteurs de l'application, le conseiller agricole, le gestionnaire projet de la coopérative). **Le troisième chapitre** concerne l'action de **simulation**. L'objectif est d'analyser la contribution d'une simulation expérimentale avec des participants étudiants (N=50), déroulée en accompagnement à la conception du piège connecté. Notre position est alors celle de concepteur et d'exécutant de la simulation. **Le quatrième chapitre** porte sur l'action de **test utilisateur**. L'objectif est de proposer une méthode pour évaluer l'acceptabilité de lunettes intelligentes de réalité augmentée avec des conseillers agricoles (N=7). Notre rôle consiste alors à créer la méthodologie d'évaluation et à réaliser les tests.

Partie empirique	Technologie envisagée	Utilisateur visé	Action ergonomique déployée	Participants
1	Système d'Information Géographique	Viticulteur	Analyse de l'activité des viticulteurs	5 viticulteurs
2	Application mobile	Conseiller	Intervention ergonomique en conception	Conseiller agricole, gestionnaire projet, 2 concepteurs
3	Piège automatique	Conseiller	Simulation expérimentale	50 étudiants de l'Université Toulouse Jean Jaurès
4	Lunettes connectées	Conseiller	Test utilisateur	7 conseillers agricoles

Tableau 2 : Présentation générale des 4 parties empiriques

PARTIE III : CONTRIBUTIONS EMPIRIQUES

Cette partie III présente les 4 contributions empiriques de la thèse, avec un chapitre dédié à chacune des études.

Le chapitre 2 a fait l'objet : (i) d'une communication orale en français - Larbaigt, J., & Lemercier, C. (2018, octobre). *L'intervention ergonomique en conception pour favoriser l'adoption des technologies : Le cas d'un projet en viticulture*. Symposium : Complémentarité des approches pour la santé au travail : exemple d'interventions pluridisciplinaires en milieu agricole, 53ième Congrès de la SELF, Bordeaux (France) – (ii) d'une communication orale en anglais – Larbaigt, J., & Lemercier, C. (2019, juillet). *Ergonomic intervention as a way to improve technological adoption*. Materials, methods and technologies, Burgas (Bulgarie) – et (iii) d'un article - Larbaigt, J., Gaillard, I., & Lemercier, C. (2020). Prendre en compte l'adoption technologique dès le stade de la conception : Le cas d'un projet en viticulture. *Perspectives interdisciplinaires sur le travail et la santé*, 22(1). <https://doi.org/10.4000/pistes.6442>.

Le chapitre 3 a été présenté sous forme de communication affiche : Larbaigt, J., & Lemercier, C. (2018, juin). *Ergonomie et agroécologie : L'approche centrée utilisateur en conception IHM (Poster)*. 29ième Congrès International ICAP (International Association of Applied Psychology), Montréal (Canada).

Le chapitre 4 reprend un article soumis, le 28 août 2020 : Larbaigt, J., & Lemercier, C. (soumis). An evaluation of the acceptability of smart glasses for plot diagnosis activity in agriculture. *Ergonomics in Design*.

1. Favoriser l'adoption : analyse de l'activité des viticulteurs avec des entretiens

Le projet interdisciplinaire VitiOptimum ambitionne d'accompagner les viticulteurs vers des pratiques agroécologiques en s'appuyant sur le développement technologique et la modernisation de la prestation de conseil (cf. I.1.1). L'adoption de ces technologies passe par son adéquation avec l'activité des utilisateurs finaux (cf. II.2.2.7). Or, l'activité agricole de manière générale est peu connue (Béguin & Pueyo, 2011). Ce manque de connaissances s'explique notamment par la complexité et la diversité du travail dans le domaine agricole. Il n'est donc pas aisé de le caractériser (Léméry, 2011). Une des voies de transformation de l'agriculture est de développer la prise de décision des agriculteurs en matière d'utilisation des produits phytosanitaires (cf. I.3.2). Les recherches sur le travail agricole soulignent une méconnaissance de l'usage de ces produits. La quantité de données accessibles est faible. Comme le soulignent Aubertot et al. (2005, p11) : « La connaissance des pratiques se résume aujourd'hui au mieux à une analyse statistique du nombre de traitements, qui ne permet évidemment pas une compréhension des logiques mises en œuvre... ». Il faut comprendre les modes de raisonnement, les prises de décision et les stratégies des agriculteurs, c'est-à-dire leur choix d'intervenir, leur « choix tactique » (Aujas et al., 2011) pour gérer les interventions dans leurs vignes (apports d'engrais, travail du sol, interventions phytosanitaires etc.).

L'objectif de cette étude empirique est de produire des connaissances sur les raisonnements établis par les viticulteurs pour décider leurs actions dans les parcelles. La contribution de l'ergonomie porte ici sur la compréhension de l'activité des opérateurs. Ces connaissances viennent compléter les caractéristiques du travail agricole présentés en introduction. Puis la méthodologie d'entretien pour recueillir les données est présentée. Les résultats sont axés sur les facteurs de décision et de positionnement des interventions culturelles. Enfin ces résultats sont discutés.

1.1. Introduction

Cinq caractéristiques de l'activité agricole peuvent être extraites de la littérature. L'agriculteur peut d'abord se caractériser comme un opérateur multi-casquette et multi-niveau (Chizallet, 2019). En effet, l'agriculteur est en premier lieu un opérateur, celui qui réalise quotidiennement les travaux. Mais il est également concepteur et gestionnaire de son système

de production (Jourdan, 1990). L'agriculteur doit gérer des processus biologiques, en harmonisant différentes logiques, qu'elles soient économiques, patrimoniales, techniques, organisationnelles ou écologiques. Il doit prendre des décisions et établir des prescriptions. Ainsi, l'agriculteur porte plusieurs fonctions, généralement réparties entre plusieurs personnes dans d'autres domaines professionnels (Cerf & Sagory, 2004 ; They et al., 2015). Le travail agricole se caractérise également par une imbrication de la vie professionnelle et de la vie privée. Lieu de travail et lieu de vie sont souvent proches voire confondus. Projet professionnel et projet de vie sont alors intimement liés (Chizallet, 2019). Cette articulation entre famille et entreprise peut créer une fusion des identités personnelle et professionnelle (Léméry, 2003). Par ailleurs, le travail agricole est constitué de nombreuses tâches, telles que les interventions sur les cultures (entretien du sol, épandage de pesticides, irrigation, récolte etc.), la gestion des stocks de produits phytosanitaires, l'entretien des machines, le suivi administratif de l'exploitation, le conditionnement et la vente des produits agricoles etc. Ces tâches sont souvent interdépendantes et peuvent s'interrompre les unes les autres (Béguin & Pueyo, 2011). Elles s'inscrivent dans des dimensions temporelles et spatiales singulières. Certains processus peuvent avoir des temps de réponse très longs (Cerf & Sagory, 2004). D'autres, à l'inverse, nécessitent une forte réactivité de l'agriculteur, en particulier pour le viticulteur qui peut avoir la sensation de devoir courir partout en urgence. Au niveau spatial, l'agriculteur travaille sur des zones étendues, entre l'exploitation et les parcelles. Cela est spécialement prégnant en viticulture avec un parcellaire morcelé, entraînant de nombreux déplacements et un accroissement de la durée du travail (Nicourt, 2016). Une autre caractéristique du travail agricole est l'importance de la tradition (Métral et al., 2012). Parfois, les anciens, qui sont à la retraite, continuent à travailler sur le domaine familial. Enfin, l'usage des produits phytosanitaires, au centre de cette partie empirique, revêt une place importante dans l'activité viticole. Les interventions phytopharmaceutiques rythment le quotidien des viticulteurs, tout spécialement sur la période mai/juin/juillet et occupent une place centrale dans leur savoir-faire. Les viticulteurs réalisent une vingtaine de traitements phytosanitaires sur une campagne selon l'enquête Agreste de 2007, cité par Valdivieso Larrain (2012). Les entretiens menés dans le cadre du projet VitiOptimum soutiennent l'analyse de l'activité des viticulteurs (cf. II.4.2), en particulier leurs interventions culturelles dans les parcelles. Ils visent à mieux comprendre cette partie de l'activité viticole pour assister la conception des technologies à destination des producteurs (cf. I.1.2).

1.2. Méthode

2.1. Participants

Sur les 5 entretiens menés, 4 ont fait l'objet d'un enregistrement audio et d'une retranscription intégrale (cf. tableau 3). Un seul participant a refusé l'enregistrement. Les données sont alors issues d'une prise de notes papier-crayon en cours d'entretien suivie d'un compte-rendu rédigé à chaud. La durée moyenne des entretiens est de 1h26min (min=50min, max=130, SD= 28).

	Participant 1	Participant 2	Participant 3	Participant 4	Participant 5
Date	20/12/17	11/01/18	05/02/18	13/02/18	26/02/18
Durée [min]	50	85	87	80	130
Recueil de données	Enregistrement	Enregistrement	Enregistrement	Enregistrement	Prise de notes

Tableau 3 : Déroulement des entretiens avec les 5 viticulteurs

Dans la suite de ce document, chaque viticulteur sera identifié par la lettre P suivie d'un chiffre attribué selon l'ordre chronologique des entretiens, afin de respecter l'anonymat des participants.

Le tableau 4 (caractéristiques des 5 viticulteurs participants) présente les caractéristiques de chaque participant ainsi que celles de leur exploitation.

	Participant 1 (P1)	Participant 2 (P2)	Participant 3 (P3)	Participant 4 (P4)	Participant 5 (P5)
Genre	Masculin	Masculin	Masculin	Féminin	Masculin
Âge	45	57	44	48	48
Localisation	Quercy tarn-et-garonnais	Quercy tarn-et-garonnais	Quercy tarn-et-garonnais	Frontonnais	Quercy tarn-et-garonnais
Ressources humaines	GAEC ¹² avec son frère + femme salariée	GAEC avec sa femme & sa fille + père + saisonniers	Seul + mère	1 salarié temps plein + saisonniers	Seul + saisonniers
Ancienneté dans la prestation	6 ans	3 ^{ème} saison	3 ^{ème} saison	6 ans	2 ans
Coût annuel du conseil (euros)	900	785	777	1080	900
Surfaces en viticulture	2ha raisin de table + 8ha raisin de cuve	7ha raisin de table	6.5ha raisin de table	14ha raisin de cuve	10ha raisin de table
Autres activités	Vente/dégustation de vin, horticulture (300m ²), arboriculture (2.5ha)	Arboriculture (7ha)	Hébergement touristique	Vente/dégustation de vin	Arboriculture (6ha)
Viticulture prioritaire ?	Non, priorité = horticulture	Oui	Oui	Oui	A égalité avec l'arboriculture

¹² Abréviation de Groupement Agricole d'Exploitation en Commun (www.larousse.fr)

2.2. Guide d'entretien

Le guide d'entretien a été construit sur la base de la littérature, de l'analyse ergonomique de l'activité de conseiller (cf. III.2.3) et en cohérence avec les objectifs du projet de recherche. Il est composé de 5 grandes parties. La thématique « Pratiques en conduite du vignoble » représente une partie centrale de l'entretien (cf. tableau 5).

Thématique	Exemples d'éléments abordés	But
Caractéristiques du producteur et son exploitation	Age, formation, expérience en viticulture, intégration dans la prestation de conseil, ancienneté, motivations, avis général, améliorations possibles, Caractéristiques exploitation (cuve ou table, polyculture, surfaces, appellations, personnel).	Appréhender le contexte de l'activité viticole pour chaque exploitation et chaque viticulteur.
Gestion globale de l'exploitation	Activités sur l'ensemble de la saison, importance de la viticulture dans ces activités, difficultés dans la conduite globale de l'exploitation, cahiers des charges suivis, utilisation de technologies, difficultés pour suivre les règles de conditionnalité PAC.	Situer la viticulture dans les activités de l'exploitation. Avoir une vue globale d'une campagne.
Pratiques en conduite du vignoble	Difficultés rencontrées en viticulture, mode opératoire pour réaliser le diagnostic physiologique et sanitaire des parcelles, informations utilisées pour le diagnostic, difficultés à réaliser le diagnostic, méthode pour l'observation de parcelles (activité dédiée, personnels...), périodes de sensibilité de la vigne, raisonnement pour la décision d'intervenir, raisonnement pour le positionnement de l'intervention, modulation de dose, ravageurs/maladie les plus problématiques, complexité de la réglementation, difficultés pour obtenir une production satisfaisante, mode opératoire de la	Comprendre les interventions sur parcelles et les déterminants de cette activité.

	pulvérisation, interruptions, vérification de la qualité de la pulvérisation.	
Informations, communication, réseaux	Echanges avec le conseiller, but des communications, sources d'informations pour l'activité, ressource pour l'identification de symptômes, partage de tâches avec les collègues, source de conseil dans la conduite du vignoble.	Recueillir des déterminants globaux, informationnels et sociaux
Technologies envisagées dans le projet	Utilité pour communiquer avec son conseiller par application mobile ou portail web, transmission de données (météo, observations, demande de conseil...), importance que le conseiller ait le retour des interventions réalisées, acceptation pour faire ce retour par technologie, fonctionnalités souhaitées pour les outils	Extraire les besoins des viticulteurs. Imaginer les fonctionnalités des technologies pour soutenir l'activité.

Tableau 4 : Caractéristiques du guide d'entretien

2.3. Organisation pratique des entretiens

L'organisation pratique des entretiens s'est déroulée en 6 phases :

- Réunion de préparation avec le conseiller agricole (octobre 2017). Cette réunion visait à co-construire, avec le conseiller agricole, la prise de contact avec les viticulteurs. L'ensemble des quinze viticulteurs engagés dans le suivi à ce moment a été ciblé pour participer aux entretiens sur la base du volontariat. Pour favoriser au maximum la participation des agriculteurs aux entretiens, 3 aspects ont été décidés conjointement. D'abord, la première prise de contact est réalisée par le conseiller, contact habituel des producteurs. La prise de rendez-vous est assurée par l'équipe de recherche dans un second temps, par téléphone. De plus l'exploitation de chaque viticulteur a été retenu comme lieu de réalisation des entretiens. Cet endroit peut rassurer les producteurs et soutenir l'explicitation de leur activité. Enfin, la période de réalisation des entretiens a été programmée pour la période hivernale (décembre/janvier/février). Cette période est propice car les viticulteurs ont terminé leur campagne viticole. Ils sont alors occupés par les activités de conditionnement du raisin (viticulture de table) ou de sa transformation en vin (viticulture de cuve) avant la reprise de la nouvelle campagne (opérations de taille en février-

mars). C'est dans cette période que les producteurs semblent avoir le plus de temps disponible (Valdivieso Larrain, 2012).

- Validation du guide d'entretien (novembre 2017). Après son élaboration par l'équipe de recherche, le guide d'entretien a été envoyé à la coopérative pour validation par le conseiller et le gestionnaire de projet. Des modifications mineures ont été apportées par ces 2 acteurs.
- Envoi du courriel récapitulatif aux 15 viticulteurs (novembre 2017). Ce mail rappelait les objectifs du projet de recherche, le but de l'entretien, ses thématiques, le lieu de l'entretien, son déroulé et sa durée. Il précisait que les viticulteurs recevraient bientôt un appel de l'équipe de recherche pour les solliciter dans ces entretiens.
- Appel téléphonique des viticulteurs par l'équipe de recherche (novembre-décembre 2017-janvier 2018). Sur les 15 producteurs, 9 n'ont pas répondu à notre sollicitation, 1 a refusé et 5 ont accepté.
- Réalisation des entretiens. Les 5 entretiens ont été réalisés en décembre 2017, janvier et février 2018. Les participants ont signé un formulaire de consentement le jour de l'entretien.
- Communication sur les résultats. Les résultats ont été présentés dans un premier temps à la coopérative (octobre 2018) avant communication en réunions de pilotage avec l'ensemble des acteurs du projet (le 10 janvier & le 20 juin 2019).

1.3. Résultats

3.1. Variabilité des exploitations et des viticulteurs

Le premier constat est que l'échantillon interrogé présente une forte variabilité, tant dans les caractéristiques des individus, que dans celle de leurs exploitations respectives. Deux grands terroirs se distinguent. Les exploitations en raisin de cuve, souvent en monoculture, se situent principalement dans le Frontonnais. Les surfaces par exploitation sont plutôt importantes (moyenne = 21 ha, médiane = 17, min = 5, max = 50) avec un parcellaire regroupé en blocs. Les exploitations de raisin de table, souvent en polyculture (ex : arboriculture), sont majoritairement localisées dans le Quercy tarn-et-garonnais. Les surfaces par exploitations sont plus faibles (moyenne = 8.5 ha, médiane = 8.5, min = 3, max = 15), avec un parcellaire morcelé. Ces 2 terroirs se distinguent notamment par les cahiers des charges suivis (Appellations d'Origine Contrôlée/Protégée et Indications Géographiques Protégées), par les réglementations applicables (ex : irrigation), par les enjeux de production (ex : importance de l'aspect esthétique du raisin en viticulture de table), par l'importance relative de certains ravageurs ou encore par

la mécanisation des activités viticoles (ex : vendange souvent mécanisée en viticulture de cuve, manuelle en viticulture de table).

Trois grandes motivations poussent les viticulteurs à adhérer au suivi personnalisé. Tout d'abord, les producteurs apprécient les observations de parcelles réalisées par le conseiller. Cette activité viticole est présentée comme fondamentale pour la conduite du vignoble, mais également comme chronophage : « *Surtout qu'on a 8 parcelles. Faut changer de parcelle, c'est différent. Il y en a entre les bois, autour de la maison. Il n'y a pas la même maladie d'un endroit à un autre. La personne passe vite 1h-1h30.* » (P1). Les observations peuvent se télescoper à d'autres activités, en particulier pour les viticulteurs polyculteurs : [à propos des observations sur parcelles] « *Nous, l'été on a du travail ailleurs. [...] Pour moi c'est un confort dans le sens où je sais que l'été j'ai pas besoin de m'en occuper.* » (P2), « *J'y vais souvent de 6 à 9 avant d'ouvrir la cave. Puis après de 13h30 à 15h avant de ré-ouvrir.* » (P4). Les observations réalisées par le conseiller sont incluses dans la prestation (le viticulteur n'a pas à en faire la demande), elles concernent l'ensemble des parcelles (toutes les parcelles viticoles, quelles que soient les Appellations visées ou les productions) et elles sont régulières : « *On a quand même un suivi régulier. Ça fait 2 ans, ça fait drôle de voir un gars qui me suit tous les 8-10 jours.* » (P2).

Ensuite, la gestion des problèmes sanitaires est également une motivation importante. Certains viticulteurs ont eu des pertes de production par le passé, comme le participant 2 qui « *s'est fait coincé dans les vignes avec du thrips¹³* », ou le participant 5 qui veut un soutien après une année perturbée par le mildiou. Tous les producteurs mettent en avant les fortes conséquences d'une mauvaise gestion des ravageurs/maladies : « *On a perdu presque la moitié du Chasselas. A cause du thrips. Fallait plus jouer avec ça.* » (P2). Ils soulignent également que chaque intervention compte : « *On se loupe sur un traitement, on est mort.* » (P5), « *J'ai perdu cette année-là 60% de la récolte, sur une journée, sur un traitement.* » (P4). La gestion des ravageurs/maladies est par ailleurs une difficulté du métier largement exprimée par les viticulteurs.

Enfin, les viticulteurs cherchent, dans le suivi personnalisé, un soutien pour changer leurs pratiques et mieux répondre aux enjeux économiques, environnementaux et sanitaires (cf. I.3.1). L'aide au changement de pratiques concerne majoritairement le raisonnement pour les

¹³ Petit insecte thysanoptère, à l'abdomen pointu, qui abonde sur diverses plantes dont il épuise les feuilles par ses piqûres (www.larousse.fr)

interventions sur parcelle, en particulier les applications phytosanitaires : [à propos des pratiques avant d'intégrer le suivi] : « *Mais pas forcément en raisonnant comme on raisonne maintenant. C'était traitement systématique. On prenait pas de risque.* » (P2). Les producteurs déclarent vouloir s'affranchir des « *traitements au cas où* » (P5). Les viticulteurs engagés dans le suivi expriment leur volonté de réduire l'usage des produits phytopharmaceutiques : « *Réduire les intrants, il faut que ce soit un objectif.* » (P1), « *Forcément, on essaie de réduire. Quand y'a pas besoin, y'a pas besoin.* » (P2). Le conseil leur permet d'être rassuré, dans une relation collaborative avec le conseiller : « *On se sent épaulé. C'est quand même plutôt confortable. On travaillait souvent tout seul. Et on naviguait un peu à vue. Là c'est agréable.* » (P4). Le conseil permet également de mieux respecter les réglementations, en particulier phytosanitaires : « *Les mélanges par exemple. Je lui dis ce que je compte faire et il me dit tu peux ou tu peux pas. C'est l'avantage de l'avoir. Maintenant, je sais que les mélanges ça devient compliqué. Comme ça actuellement, il me faut vraiment quelqu'un qui regarde ça. Que j'ai pas à me dire...Il faut qu'il me soulage de ce côté-là.* » (P3). Enfin, le conseil est source d'expertise pour les viticulteurs : [à propos du conseiller] « *Il connaît tous les produits, ça c'est vraiment super. [...] C'est une expertise.* » (P3).

3.2. Activités mentionnées

Au cours des entretiens, les viticulteurs mentionnent 10 grandes catégories d'activités viticoles (cf. figure 12) : (i) l'entretien du sol (désherber, tondre, gérer l'enherbement etc.), (ii) l'entretien du palissage (travailler le palissage en début de saison, relever & attacher les vignes au cours de la saison etc.), (iii) les opérations en vert (ébourgeonner, effeuiller, écimer etc.), (iv) les opérations de fertilisation (arroser, épandre des engrais, assurer la traçabilité), (v) les observations des parcelles (observer, suivre les populations de ravageurs etc.), (vi) les traitements phytosanitaires (décider et réaliser les traitements, assurer leur traçabilité), (vii) le ramassage du raisin (récolte et vendange), (viii) la taille hivernale de la vigne (taille, évacuation ou broyage des bois), (ix) la gestion du parcellaire (arrachage/replantage de ceps) et (x) l'irrigation.

Trois points saillants peuvent être retenus quant aux activités viticoles. Tout d'abord, les viticulteurs soulignent l'importance des observations : « *Je le dis, il faut vraiment être dans la vigne, beaucoup, puis sur la même parcelle. Et là je vais observer.* » (P4). Elles sont effectuées au cours d'autres activités dans les parcelles « *Chaque fois qu'on fait un travail dans une vigne,*

rogner par exemple, on regarde. L'état des lieux, on le fait quand on est dans la parcelle. » (P1). Elles font également l'objet d'une activité spécifique, avec des déplacements à pied ou en véhicule : *« On les suit nos vignes, on va les voir. En plus, on prend le quad de temps en temps pour faire un tour, voir ce qui se passe. »* (P2). Elles s'accompagnent parfois de relevés des pressions insectes : [à propos des thrips] *« De temps en temps, je prends une feuille blanche et je fais quelques battages. Voir si ça évolue ou pas. »* (P2).

De plus, les viticulteurs évoquent la gestion du parcellaire et ses enjeux. Elle consiste à arracher et à planter des cepes en fonction notamment de l'état de santé des plants (maladies, âge etc.), d'une réorganisation de la production (nouveaux cépages implantés) et des cahiers des charges (ex : densité minimale de 4000 pieds/ha pour l'AOC Fronton). Cette activité se réalise à chaque campagne : *« On en a planté l'an dernier, on en replante cette année. L'an prochain on continue. »* (P2). Cette activité est parfois difficile pour les viticulteurs qui jouent la productivité de cette culture pérenne : *« Je sais que sur 5 ans, pour se remettre à jour, il y en a toujours qui meurent. Pour le re-stabiliser, ça va être compliqué, il faut une paire d'années. »* (P3). La gestion du parcellaire est réalisée par les viticulteurs eux-mêmes ou par des prestataires externes. L'ampleur du renouvellement est variable (ex : 7% pour P4) selon les exploitations et les campagnes : *« L'année dernière j'ai replanté 75a. Je plante 115a cette année. 2014 j'avais planté 1,5ha. »* (P4), *« On va replanter 1 500 pieds. L'année dernière 1 200 pieds. »* (P3).

Enfin, les viticulteurs insistent sur l'importance de la traçabilité, en particulier pour les interventions phytosanitaires. Celles-ci sont tracées par les viticulteurs, pour répondre aux exigences réglementaires et aux éventuelles demandes de différents acteurs (coopératives, clients, syndicats etc.) : *« Je suis certifié Global Gap au niveau de la qualité pour la traçabilité. Donc le soir il faut remplir. Global Gap c'est pas que le nom du produit qu'il faut mettre. Il faut tout, les délais de rentrée... A force on a l'habitude. On a un dossier épais. »* (P2).

Les viticulteurs décrivent également des activités non viticoles, qui peuvent être classées en 6 catégories : (i) la transformation du raisin (tri des raisins, vinification, conditionnement des raisins...) (ii) la vente (dégustations, vente sur l'exploitation, recherche de clients, relation client, gestion des commandes en ligne, préparation de commandes...) (iii) la gestion des ressources humaines (recrutement de saisonniers, dossier administratif etc.) (iv) les autres activités agricoles (arboriculture, horticulture etc.), (v) les activités rémunératrices non agricoles (ex : gîtes pour touristes) et (vi) la gestion de l'exploitation (suivi administratif avec la Mutualité Sociale Agricole etc.).

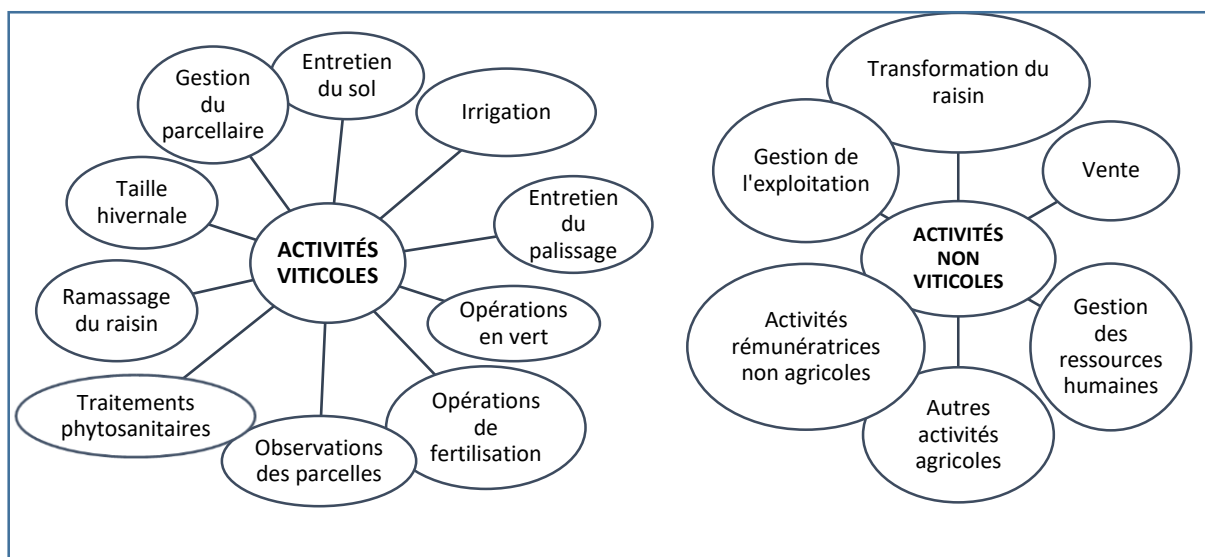


Figure 12 : Activités mentionnées par les viticulteurs

3.3. Facteurs de décision pour les interventions

Au cours des entretiens, les viticulteurs mentionnent un ensemble de facteurs de décision pour les interventions sur parcelle, c'est-à-dire des paramètres qu'ils intègrent dans leur raisonnement pour répondre à la question « faut-il intervenir ? ». Ces divers paramètres peuvent être regroupés en 7 méta-facteurs (cf. figure 13) :

- Les observations et les analyses de parcelles

Les viticulteurs considèrent que les observations sont des facteurs forts de la décision d'intervention sur parcelle. Elles portent sur 4 objets principaux. Tout d'abord, elles concernent l'aspect sanitaire de la plante, par exemple la présence de ravageurs/maladies ou de leurs symptômes : [à propos du mildiou] « Vous regardez la parcelle, il n'y a pas une tâche, inutile de traiter. » (P1). De plus, l'aspect physiologique de la vigne (apport en nutriments, concurrence des adventices etc.) est évalué lors des observations : « La souche est grosse comme ça. Là faut mettre un peu d'engrais pour qu'elle grossisse. C'est l'observation. Pour l'engrais, c'est par rapport aux souches quoi, on regarde. » (P3). Aussi, les observations portent sur la qualité des raisins (taux de sucre, grosseur etc.) : « Visuellement, ça se voit s'il y a un problème. » (P2). Enfin, les observations servent à évaluer les interventions réalisées par le passé. Les viticulteurs mobilisent plusieurs de leurs sens (vue, toucher, goût). Parfois l'identification des observables est difficile (ex : symptômes visuellement proches entre carence et phytotoxicité) : « Des fois, on sait pas. Par exemple, quand on a fait des battages, on voit

*des bestioles qu'on n'a pas l'habitude de voir. On sait pas si c'est du thrips, ou autre chose, la cicadelle¹⁴. » (P2). Les observations sont assorties d'analyses pour servir une stratégie d'anticipation des problèmes, en particulier pour les risques champignons et la physiologie de la vigne : « *Comment ça va ne plus aller, là c'est plus compliqué. D'où l'idée des analyses de sol, des analyses foliaires. Pour essayer d'anticiper.* » (P4).*

- La nature et le niveau de risque sanitaire

Les viticulteurs expriment 2 stratégies bien différentes en matière de traitements phytosanitaires, entre les risques champignons (mildiou, botrytis etc.) et les risques insectes (thrips, Eudémis etc.). L'approche préventive est privilégiée dans la lutte antifongique : les viticulteurs couvrent la vigne d'un pesticide préventif pour éviter sa contamination par le champignon. Une période à risque est définie par la conjonction de 2 événements : la vigne est sensible à un champignon donné (ex : du débourrement à la véraison pour le mildiou) et ce champignon est activé (ex : maturité des œufs atteinte en fonction des conditions météo). Dans cette période à risque, c'est une pluie dite contaminante (ex : 20mm), qui peut projeter des spores du sol vers la plante, qui va engendrer une application phytosanitaire préventive : « *Donc, qu'est-ce qu'on prend comme décision ? Il va pleuvoir un peu ? Beaucoup ? Si on attend, ça dépend de ce qu'on nous annonce comme météo.* » (P4), « *Après si vous avez 15 jours de sec au mois de juillet, sans pression de quoi que ce soit, pas la peine de traiter.* » (P1). En cas d'annonce d'une nouvelle pluie contaminante, les viticulteurs doivent statuer sur la nécessité de protéger à nouveau la vigne, en fonction du risque de lessivage (qui dépend notamment de la nature du produit épandu et de la pluviométrie depuis cet épandage) : « *On est couverts mais après s'ils annoncent une pluie de suite...faut repasser, pas repasser ? [...] On a fait un systémique mais il est tombé 30mm. Il va repleuvoir 10mm un jour après. On repasse ? On repasse pas ?* » (P2). Lorsque la lutte préventive échoue, les producteurs déclenchent des applications phytosanitaires curatives en fonction des observations de contamination fongique dans la parcelle. La lutte contre les insectes, elle, est plutôt curative. Les producteurs se basent principalement sur les observations et le piégeage pour décider d'une intervention : « *Quand vous avez du vers de grappe à un endroit, il y est, il faut traiter.* » (P1).

- Les caractéristiques des parcelles

¹⁴ Petit insecte homoptère sauteur (www.larousse.fr)

Une première caractéristique notable renvoie **aux cépages** présents sur la parcelle. Plusieurs cépages coexistent sur une même parcelle (ex : Négrette, Syrah). Ces variétés de vigne présentent des caractéristiques différentes (notamment en termes de sensibilité) qui influencent les interventions des producteurs : « *On rajoute 2-3 traitements contre botrytis pour le muscat.* » (P1). Les attributs du vignoble renvoient aussi à son **historique**, facteur central des décisions d'interventions pour les viticulteurs. Les interventions passées, les pressions de ravageurs, les niveaux de production (quantité, qualité), les carences physiologiques des campagnes passées sont intégrées dans les raisonnements. L'historique de la parcelle guide par exemple les interventions de fertilisation : « *On connaît nos vignes[...]. C'est ça qui nous permet d'ajuster la fumure. On n'a pas d'outil spécial. L'expérience surtout. Là par exemple, on a 1 ou 2 vignes où on avait forcé un peu en engrais. On a dit stop, ça poussait trop.* » (P1). **Le développement de la vigne**, sa pousse, conditionne les dosages de produits phytosanitaires. Par exemple, une faible quantité de feuillage en début d'année entraîne une réduction des doses : « *[...] en début de saison, quand il n'y a pas de feuillage, on met pas la dose maxi. On peut faire moitié dose par exemple. C'est pas utile de mettre pleine dose quand vous avez 1/4 du feuillage.* » (P1). De même, la croissance de la plante entre 2 traitements fongiques par produit de contact influe la décision d'intervenir à nouveau pour protéger les nouvelles parties qui ont poussé : « *On traite comme la vigne pousse.* » (P3), « *Il y a la poussée de la vigne aussi. Fin juin avec beaucoup de feuilles neuves par exemple. Ça a pris 50 cm dans la semaine. La partie qui a poussé n'est pas couverte. Donc il faut faire quelque chose.* » (P1). **L'environnement proche de la parcelle** est aussi une caractéristique importante, notamment pour l'évaluation des risques sanitaires. Les viticulteurs sont attentifs aux champs voisins qui peuvent devenir des foyers de contamination : « *J'ai appelé un voisin "t'as plein de mildiou, on a les parcelles qui se touchent..."* » (P4). L'environnement peut aussi se révéler favorable, par exemple en étant propice à certains auxiliaires (prédateurs des ravageurs de la vigne).

- Les interventions obligatoires

Les viticulteurs étudiés sont soumis à l'obligation de réaliser certains traitements phytosanitaires. En effet, la DRAAF¹⁵ Occitanie impose 2 à 3 interventions phytosanitaires contre la cicadelle de la flavescence dorée sur l'ensemble d'une campagne : « *La cicadelle, on est obligés de le faire.* » (P3). Ce traitement obligatoire impacte aussi des décisions plus larges,

¹⁵ Direction Régionale de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Forêt)

par exemple en termes de protection du vignoble, comme l'exprime le participant 1 : « *On est obligés de traiter 2 fois avec insecticide pour la flavescence dorée. Donc vous faites quand même des insecticides alors que la confusion sexuelle c'est pour pas faire des insecticides. C'est à peu près la même période. C'est à peu près les mêmes produits phytos. Tant que ce sera obligatoire, on mettra pas la confusion sexuelle* ».

- Les caractéristiques techniques et réglementaires des produits phytosanitaires

Les attributs techniques renvoient au mode d'action du produit (contact, pénétrant, systémique, cf. I.2.2), sa durée de vie, la durée nécessaire au séchage après application, la quantité de précipitation entraînant son lessivage etc. La fin de vie d'un traitement antifongique peut entraîner une nouvelle pulvérisation : « *Interviewer : Vous savez dire sur vos parcelles, quels sont les produits encore actifs ? P1 : Voilà. Celui-ci arrive en fin par exemple.* ». Le coût du produit est aussi présenté comme un facteur de décision important par les viticulteurs. Les caractéristiques d'un produit phytosanitaire comprennent également les données réglementaires qui impactent la décision d'intervention : cible (ravageur) pour laquelle le produit est homologué en viticulture, nombres d'applications annuelles, mélanges autorisés, dose maximale autorisée, stades phénologiques de la vigne pour lesquels le produit est homologué, zone de non traitement etc.

- Le conseil

Les viticulteurs remontent s'appuyer sur le conseil donné dans le cadre du suivi personnalisé pour décider de leurs interventions sur parcelles : « *Et puis avec les conseils aussi, avec [le conseiller agricole]. [...] Oui, on se base sur la météo et les conseils nous. Mais beaucoup les conseils.* » (P2). Le conseil influence les interventions, quelle que soit leur nature (phytosanitaire, fertilisation, opérations en vert etc.).

- Le coût de l'intervention

Ce coût est à la fois financier et organisationnel. Chaque intervention, en particulier phytosanitaire engendre des dépenses d'argent et des heures de travail : « *Au niveau des phytos, moins on en fera, mieux ça sera. C'est des sous d'économisés, c'est du temps. Pour 10 ha c'est un jour.* » (P1), « *Avec 400 litres de produit, les tarifs c'est 500 euros des fois, ou 400, la cuvée.* » (P3). Les produits phytopharmaceutiques représentent une part importante des coûts

de fonctionnement de l'exploitation : « *On est à 1 000 l'hectare ici en coûts phytos.* » (P3). Ainsi, la volonté de réduction des traitements phytosanitaires est d'abord économique et organisationnelle : « *Je suis pas favori de traitement. J'ai toujours essayé de pas trop traiter quand même. Ça fait plus de travail. [...] Les produits ça coûte cher. Si je peux essayer de faire un traitement de moins, c'est 3h30 de gagner. C'est du temps de gagner. Si je peux gagner dans tout ça, moi je suis d'accord.* » (P3).

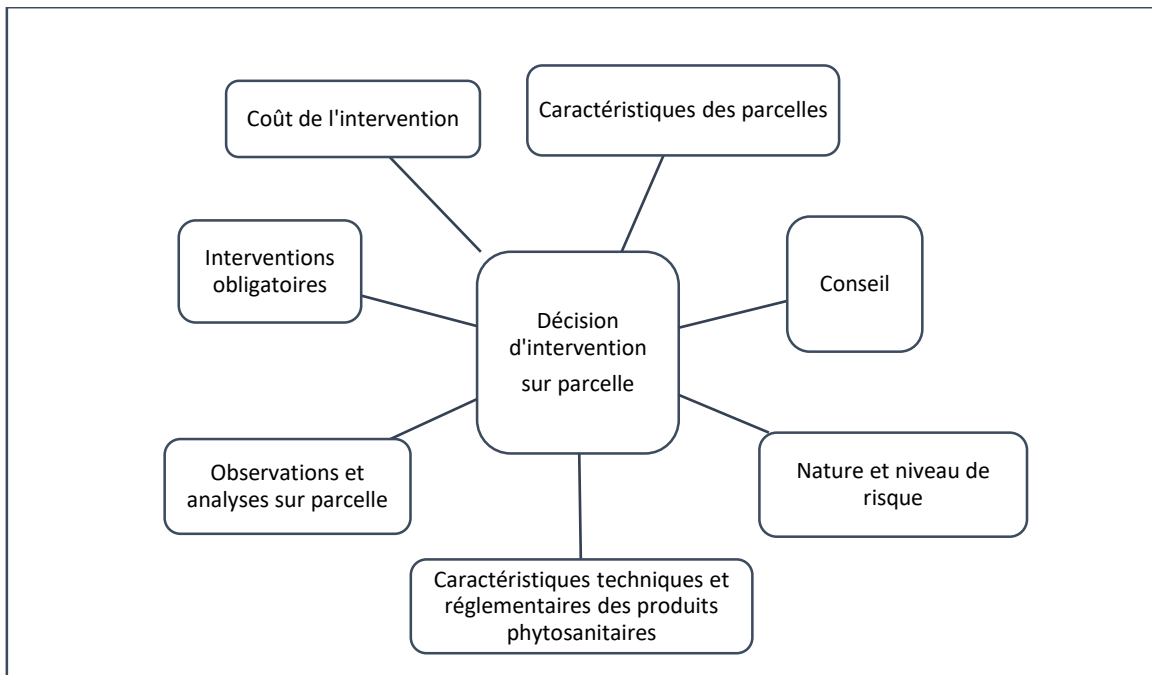


Figure 13 : Facteurs de décision pour l'intervention sur parcelle

Tous ces facteurs entretiennent des relations d'interdépendance fortes et dynamiques. Par exemple, la décision d'intervention contre un risque fongique dépend d'abord du niveau de risque pour un champignon donné (vigne sensible, champignon actif et prévision d'une pluie contaminante). Mais la vigne peut être protégée ou exposée en fonction des interventions réalisées précédemment sur la parcelle. Si un produit de contact ou pénétrant a été appliqué, le viticulteur s'interrogera sur le risque de lessivage cumulé. Si un produit systémique a été épandu, le viticulteur s'interrogera sur les nouvelles pousses de la vigne qui ne seront pas protégées. Ainsi, la décision pour une intervention préventive contre un risque champignon met en interaction le niveau de risque sanitaire, les caractéristiques de la parcelle (historique en l'occurrence) et les caractéristiques techniques des produits précédemment utilisés.

3.4. Facteurs de positionnement pour les interventions

Une fois l'intervention décidée par le viticulteur, le raisonnement porte sur le positionnement de l'action à réaliser. Le positionnement renvoie au moment de réalisation de l'intervention, au « quand faire l'intervention ». C'est une partie centrale du raisonnement en viticulture. Les entretiens ont mis en évidence des paramètres sur lesquels se basent les producteurs pour décider du positionnement de l'intervention. Ces divers paramètres peuvent être regroupés en 6 méta-facteurs (cf. figure 14) :

- La nature du risque sanitaire

Les ravageurs de la vigne étant nombreux, les viticulteurs sont vigilants une grande partie de la campagne, de mars/avril (débourrement) jusqu'à septembre voire octobre (au ramassage du raisin) : « *Le stress est là aussi tant qu'on n'a pas notre récolte au frigo.* » (P2), « *De début avril, au débourrement, à la récolte, 6 mois de l'année où on est sur le grill tout le temps.* » (P4). Chaque ravageur est associé à un repère temporel durant la campagne : « *Après, tout ce qui est botrytis, il y a des périodes bien précises. Même tout ce qui est Eudémis, thrips, ça on le sait. C'est à des périodes bien précises.* » (P2). Dans cet intervalle mars-septembre, des périodes sont plus spécialement redoutées : « *A partir du 20 avril au 15 mai, c'est très sensible.* » (P1), « *Les moments les plus difficiles, c'est au départ, pas attraper de mildiou sur la fleur. Quand la vigne commence juste à fleurir. La grappe sort, on fait attention. Elle est très fragile. C'est le moment où on perd le plus de récolte donc il faut faire attention.* » (P1) ; « *Le botrytis sur la fermeture de grappe, il faut pas le louper sur certaines vignes.* » (P1). La véraison marque une étape importante, la vigne devenant moins sensible à certains ravageurs (ex : le mildiou). Les 2 stratégies phytosanitaires (insectes, champignons) sont bien distinctes en termes de positionnement. La pulvérisation d'un produit de lutte contre les champignons, dans les périodes à risques, se fera **avant** l'arrivée d'une pluie contaminante. L'objectif est protéger la vigne en amont des précipitations : « *Pour les champignons, pour le mildiou ou autre, on essaie de le faire au plus près de la pluie. Avant la pluie, au plus près.* » (P2). L'intervention contre un insecte, elle, se positionne de préférence **après** une pluie, pour éviter de lessiver le produit épandu : « *Tout ce qui est insecte, c'est pas pareil. C'est pas au jour près, on traite après pour pas lessiver le produit.* » (P2).

- Les caractéristiques de la parcelle

Les producteurs mentionnent intégrer l'**environnement de la parcelle**, dans leur raisonnement sur le positionnement : « *C'est à côté d'une maison ? [...] il faut pas réveiller de bonne heure le matin non plus.* » (P4).

- La météo prévisionnelle

Les viticulteurs expriment largement tenir compte de la météo prévisionnelle pour positionner leurs interventions, en particulier les traitements phytosanitaires. L'impact de la météo sur le raisonnement est sous-tendu par 3 enjeux. Tout d'abord, il s'agit de **respecter la réglementation** relative à la conditionnalité de la Politique Agricole Commune. Cet ensemble de loi complexe précise les conditions de réalisation d'une intervention en fonction de la nature de cette intervention (ex : dates d'autorisation des interventions en fertilisation, limites de vent autorisées pour l'épandage de produits phytosanitaires, interdiction du travail d'un sol inondé ou gelé etc.). Ces lois sont synthétisées dans les fiches de conditionnalité, publiées par le Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt en 2015/2016. Les viticulteurs intègrent ces paramètres dans leur raisonnement pour le positionnement : [à propos d'un traitement phytosanitaire] « *Quand je vois l'après-midi, des rafales à 50 ou 60, c'est pas la peine.* » (P3). La prise en compte de la météo dans le positionnement des interventions a aussi pour objectif de **maximiser l'efficacité de cette intervention**. En effet les produits phytosanitaires sont associés à des conditions d'utilisation optimales (température, hygrométrie etc.) dont les viticulteurs tiennent compte : « *S'il fait 40°, je vais pas traiter.* » (P4), « *On regarde la météo, aujourd'hui il fait beau, il va pas faire trop chaud, c'est couvert. On traite ce jour-là, on cherche pas.* » (P1). Les producteurs intègrent aussi les prévisions de vent, pour optimiser la quantité de produit qui atteindra la plante, en limitant la dispersion : « *Si le vendredi il y a du vent, je le ferai le samedi matin. On s'est aperçus qu'il vaut mieux traiter le matin, de 9h à 13h. Après souvent, il y a du vent. Donc je fais souvent les traitements le matin.* » (P3). Enfin la météo prévisionnelle est centrale dans le positionnement des interventions car elle détermine directement **la portance du sol**. Les producteurs pensent le positionnement pour éviter que le passage du tracteur n'endommage le sol de la parcelle : « *S'il est tombé 40mm, on pose les essieux et on sent pas le tracteur.* » (P4). Cet aspect peut les pousser à décaler une intervention prévue, en attendant un séchage acceptable du sol : « *Il y a aussi le facteur, quand il pleut, il faut pouvoir passer dans les parcelles. Il faut quand même que ça ré-essuie un peu.* » (P2).

- Les caractéristiques techniques et réglementaires des produits phytosanitaires

Les producteurs visent l'application de l'antifongique dans une fenêtre la plus proche possible avant la pluie contaminante : « *On essaie de pas le faire 8 jours avant, pour que le produit soit vraiment efficace. Ça peut arriver, ils annoncent pluie le mardi, on traite le samedi, tant pis.* » (P2). Dans la lutte antifongique, les agriculteurs se basent sur **la durée de vie** du produit et **son niveau de lessivage**, pour estimer si leurs vignes sont toujours protégées de façon active : « *Au bout de 14 jours, ça commence à faire...* » (P3). De plus, le **délai de réentrée** (noté DRE et défini comme la durée minimale [6, 24 ou 48h] entre l'application du produit et la réentrée d'une personne dans la parcelle pour limiter les risques pour sa santé) et le **délai avant récolte** (noté DAR et défini comme la durée minimale [de 3 à 90 jours] entre l'application du produit et la récolte du raisin pour limiter les risques de résidus d'intrants) conditionnent le positionnement d'une intervention phytosanitaire.

- L'organisation du travail

Les viticulteurs rapportent positionner leurs interventions en fonction de 2 éléments liés à l'organisation du travail. Il s'agit d'abord de **leur disponibilité**, « *le temps qu'on a* » comme l'exprime le participant 4. Les interventions sont positionnées dans des plages horaires libres, selon la priorité de l'intervention au regard des autres activités du producteur : « *Interviewer : Quand vous avez décidé de traiter, comment vous positionnez le traitement ? P1 : Le jour où on est le plus disponible, c'est souvent celui-là.* » et de sa vie privée : « *Mais après, il faudra traiter le dimanche. Il y a des vies de famille.* » (P3). **La planification des autres activités viticoles**, en particulier le ramassage du raisin et les activités manuelles dans les parcelles (entretien du palissage par exemple), influencent le positionnement d'une intervention phytosanitaire (en interaction avec le DRE et le DAR du produit) : « *Dans chacune de nos décisions, on se dit : "j'ai besoin de rentrer dans la parcelle ?"* » (P4), « *Je traite souvent le jeudi ou le vendredi. Parce que j'ai des saisonniers qui travaillent la semaine. Je traite là, souvent le vendredi, pour que ça passe le weekend. Ça rentre en compte aussi. Les saisonniers, ou même nous, il faut pas qu'on aille travailler dans les vignes traitées. Je laisse 24 voire 48h souvent.* » (P3). L'interaction des caractéristiques techniques et réglementaires des produits phytosanitaires avec l'organisation du travail entrent parfois en contradiction, appelant le producteur à prioriser les interventions : « *Les délais avant récolte et les délais de réentrée c'est compliqué. Ils sont intenable 1 fois sur 2. Quand vous relevez, vous relevez. Vous allez pas*

attendre 4 jours pour passer dans la vigne. Des fois c'est impossible. » (P1), « Qu'est-ce qui est primordial ? Faire ce passage-là sachant que je mettrai pas 3 bonhommes dans la vigne demain ? Donc j'attends vendredi, comme ça, on a le week-end, avant de re-rentre dans la parcelle. Ou alors, on se dit non. Pendant 3 jours, on va pas travailler. Parce qu'il est pas question d'empoisonner les gens. Tout ça c'est notre métier quoi. Ça fait partie, les délais de réentrée, les délais avant récolte, ça fait partie intégrante de la décision. Et du produit utilisé. » (P4).

- Le conseil

Les préconisations du conseiller influencent le positionnement des interventions, comme le souligne cet échange : « Interviewer : *Quand vous avez décidé, par exemple de faire un traitement, comment vous choisissez le moment ?* P3 : *Toujours avec [le conseiller agricole] - Interviewer : Vous attendez qu'il vous dise quand c'est le moment ?* P3 : *Oui* ».

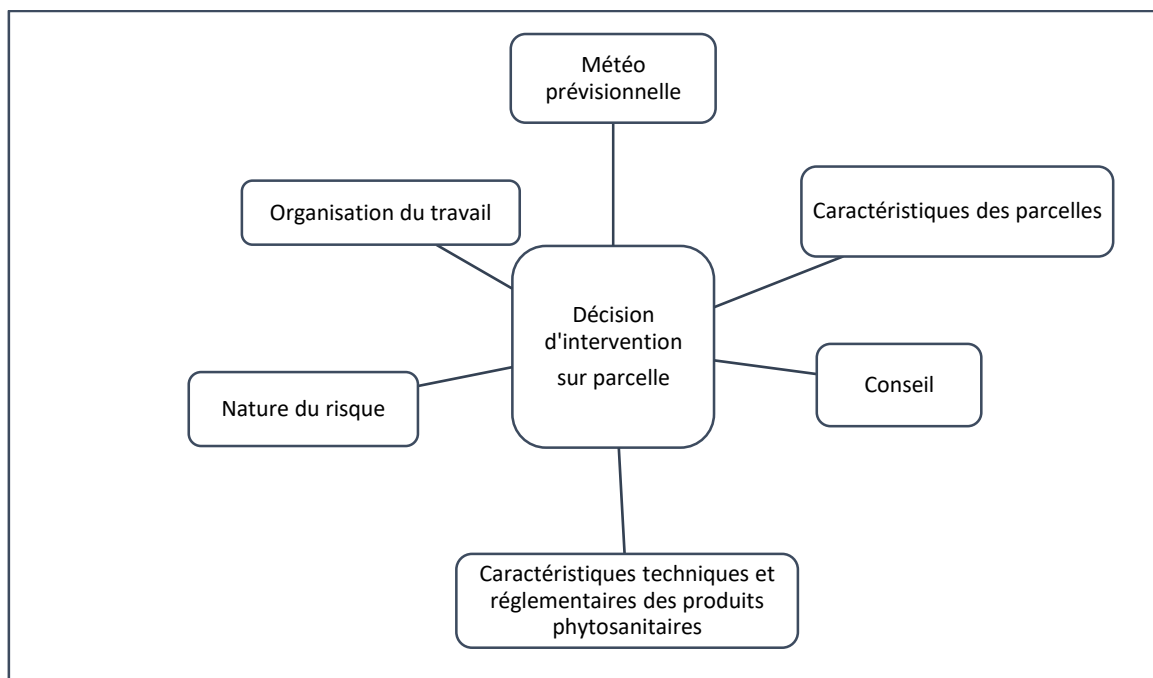


Figure 14 : Facteurs pour le positionnement d'une intervention sur parcelle

1.4. Discussion et conclusion

Cette partie empirique avait pour objectif de comprendre l'activité de viticulteur, en particulier les raisonnements établis pour intervenir sur les parcelles. Cinq entretiens ont été

réalisés avec des producteurs engagés dans la prestation de conseil personnalisé proposée par la coopérative maître d'ouvrage du projet VitiOptimum. L'analyse s'est basée sur une approche thématique, soutenue par l'extraction de verbatim issus des retranscriptions. Cette partie empirique s'articule avec la volonté de l'ergonomie de comprendre les situations de travail et de produire des connaissances sur l'activité d'opérateurs. Elle s'inscrit dans le courant des recherches sur l'activité viticole, notamment l'ergotoxicologie (voir par exemple Mohammed-Brahim & Garrigou, 2009 ; Garrigou et al., 2008) qui agit pour la prévention des risques chimiques (Jouzel & Dedieu, 2012).

Trois orientations majeures des résultats peuvent être retenues.

Tout d'abord, la présentation des viticulteurs interviewés révèle la grande variabilité des exploitations et de leur contexte. La production de raisin de table, souvent oubliée au profit de la viticulture de cuve largement majoritaire en France, doit être reconsidérée. Cette variabilité des exploitations agricoles est relevée dans d'autres recherches (voir par exemple Blazy et al., 2011). L'importance du contexte est forte en agriculture (Roussy et al., 2015). Il est donc difficile d'appliquer des cadres théoriques qui tiennent peu compte du contexte, notamment au sujet de l'adoption technologique.

Ensuite, les résultats concernant les activités mentionnées montrent l'importance de la traçabilité dans l'activité viticole, faisant écho aux travaux de Joly (2011) dans le secteur de l'élevage. La traçabilité sert de mémoire du travail effectué afin d'organiser les chantiers à venir. Elle répond également à des enjeux réglementaires, financiers et commerciaux pour présenter l'ensemble des interventions réalisées à une diversité d'acteurs (clients, syndicats d'appellation, organismes de contrôle...) pour valoriser la production et postuler aux aides conditionnalité de la Politique Agricole Commune. Les producteurs doivent justifier leurs interventions dans le respect de réglementations de plus en plus nombreuses (Cerf & Sagory, 2004). Cette activité de traçabilité vient s'ajouter aux nombreuses activités réalisées par le producteur, opérateur multi-casquette et multi-niveau (Chizallet, 2019).

Enfin, cette étude met en lumière les tensions sous-jacentes à l'activité viticole, notamment la prise de décision pour intervenir sur les parcelles, le « choix tactique » des producteurs (Aujas et al., 2011). Ces tensions ont 4 principales origines. Premièrement, les raisonnements sont complexes du fait des interactions fortes entre les facteurs (de décision et de positionnement), comme le souligne le participant 4 : « *Le plus dur à obtenir c'est le raisin le plus sain, la vigne la plus jolie possible, le plus sain possible sans avoir de produits intrusifs. Ça c'est un souci*

qui est vraiment permanent chez moi, de pas utiliser de produits intrusifs. De faire le moins d'intervention chimique possible. Mais avec un rapport qualité/prix. C'est le fond d'écran permanent. Qu'est-ce que je fais ? A quel prix ? Et comment sauver la planète en même temps ? ». Cette complexité est soulignée dans d'autres travaux en agriculture (voir par exemple They et al., 2015 ; Ambrosio et al., 2006). Deuxièmement, les raisonnements sont soumis à des contraintes temporelles (Nicourt, 2016). La dimension biologique du système de production étant très marquée, les décisions doivent se réaliser dans des fenêtres de temps limitées tout en intégrant une vision long terme sur la culture pérenne : *« Ce qui est primordial, c'est qu'une fois qu'on a réussi à prendre la décision [d'intervenir], on y va ! On se pose plus de questions. Sinon, c'est infernal. Si on repousse d'une journée, on remet toute la réflexion sur la table »* (P4). La complexité des prises de décision est un aspect marquant de l'activité viticole, comme le résume le participant 2 : *« A mon avis, c'est décider le plus compliqué. Tout ce qui est dose, application, on a un bon équipement donc ça va. Quand la décision est prise, le traitement est fait pour moi. [...] Le plus difficile c'est la décision. On fait ? On fait pas? Ils annoncent de la pluie mais c'est pas certain. C'est ça qui est dur, prendre la décision. En bout de compte, on dit on fait/on fait pas »* (P2). Troisièmement, les tensions s'expliquent par les forts enjeux qui pèsent sur la décision d'intervenir. Décider d'intervenir c'est mobiliser du temps, des moyens (main d'œuvre, matériel, carburant, produits phytosanitaires etc.) et de l'argent, dans un contexte où activités viticoles et non viticoles sont nombreuses et enchevêtrées. Décider de ne pas intervenir peut mener à des risques d'altération de la vigne et des raisins, face à une adventice, un ravageur ou une carence. La réalisation d'une intervention ou sa non réalisation a donc des conséquences importantes, comme le fait remarquer Valdivieso Larrain (2012, p235) : *« des dépenses extraordinaires en traitements ou des pertes dans la production, même limitées, peuvent facilement mener à un bilan négatif à la fin de la campagne »*. Chaque traitement est donc crucial, dans un contexte de fragilité de la rentabilité des exploitations et de pressions sociales sur le domaine viticole (cf. I.3.1). Enfin, ces tensions trouvent une partie de leur origine dans les incertitudes auxquels le viticulteur doit faire face, qu'elles soient relatives aux prix, aux évènements épidémiologiques ou aux règlementations (They et al., 2015). Parmi ces incertitudes, les conditions météo est un paramètre central dans la conduite de la vigne, véritable système biologique à ciel ouvert, comme le relèvent de nombreux travaux (voir par exemple Cerf & Sagory, 2004 ; Chizallet, 2019 ; Joly, 2011 ; Jourdan, 1990 ; Valdivieso Larrain, 2012). Les entretiens montrent que la météo influence plusieurs facteurs de décision et de positionnement des interventions (ex : niveau de risque sanitaire, portance du sol,

développement de la vigne, durée de séchage et risque de lessivage d'un produit phytosanitaire etc.). Elle joue un rôle central, comme l'exprime le participant 4 : « *On doit me prendre pour une barjot, je passe ma vie à regarder la météo* ». Ces tensions caractérisant l'activité viticole peuvent expliquer les 3 motivations principales des producteurs pour adhérer au suivi personnalisé : avoir une assistance pour l'observation des parcelles, éviter les problèmes sanitaires et bénéficier d'une aide au changement de pratiques.

Ces résultats soutiennent la modélisation de l'activité agricole comme un système de décision relié à un système biotechnique par un système d'information (Cerf & Magne, 2007). Les technologies envisagées dans le cadre du projet VitiOptimum (cf. I.1.2) pourraient ainsi soutenir la transformation des pratiques viticoles. Le système d'information géographique (SIG) servirait de support à l'activité de traçabilité, en répondant aux problèmes, relevés par Joly (2011), d'incomplétude et de surabondance des traces écrites. Il pourrait également devenir un outil de transition vers une agriculture intensive en information (Aujas et al., 2011), en apportant des données centrales dans la prise de décision (ex : conseil, météo passée et prévisionnelle, niveau de risque, observations sur parcelle, historique du vignoble). Ces informations repérées dans le temps et l'espace (géolocalisation), issues de la collaboration producteur-conseiller, seraient en mesure de soutenir le raisonnement des viticulteurs, soumis à « effort réflexif croissant » (Léméry, 2003) et qui s'interrogent sur ce qu'ils font (Cerf & Magne, 2007). En étant un Outil d'Aide à la Décision, le SIG est à même de réduire certaines des incertitudes (Rossi et al., 2014) auxquels les viticulteurs doivent faire face. In fine, cette technologie pourrait (i) briser les « routines établies » des pratiques conventionnelles (Aubertot et al., 2005) avec les traitements systématiques associés (Jourdan, 1990) (ii) permettre une maîtrise de la variabilité intra-parcellaire (Ambrosio et al., 2006 ; Moreiro, 2017 ; Tey & Brindal, 2012), et (iii) améliorer le positionnement des interventions, paramètre clé dans la conduite du vignoble et les problématiques liées aux produits phytosanitaires (Mezière & Gary, 2009).

Ce 1^{er} chapitre empirique a concerné l'action d'analyse de l'activité. Le suivant porte sur l'intervention ergonomique.

2. Agir pour l'adoption technologique : intervention ergonomique en conception

Le projet interdisciplinaire VitiOptimum vise la modernisation de la prestation de suivi par le développement de plusieurs technologies, notamment une application mobile pour le conseiller agricole. Le système envisagé doit permettre d'enregistrer des observations sur parcelle, de rédiger un conseil et de l'envoyer aux viticulteurs suivis. Cet artefact a pour objectif de soutenir un conseil plus précis et en temps réel.

L'objectif de la partie empirique suivante est de présenter une démarche d'intervention dans un projet de conception technologique (Garrigou et al., 2001), en milieu agricole, centrée sur l'adoption technologique. Elle vise à analyser « l'activité transformatrice des ergonomes » (Daniellou, 2006), contribuant au champ de recherche sur la pratique de l'ergonomie. Cette recherche traite à la fois de l'activité de conception dans sa dimension collaborative, ainsi que du rôle de l'ergonomie dans la conception (Loup-Escande, 2010). Elle mêle « analyse de l'activité *dans* la conception », s'intéressant aux acteurs de la conception, et « analyse de l'activité *pour* la conception » (Béguin & Cerf, 2004), en proposant une analyse du travail du conseiller agricole. Cette recherche-intervention a pour objectif d'apporter des éléments sur la contribution, de l'intervention ergonomique en conception, au processus d'adoption technologique.

Cette partie empirique de thèse reprend le contenu de l'article : Larbaigt, J., Gaillard, I., & Lemerrier, C. (2020). Prendre en compte l'adoption technologique dès le stade de la conception : Le cas d'un projet en viticulture. *Perspectives interdisciplinaires sur le travail et la santé*, 22(1), 1-21. <https://doi.org/10.4000/pistes.6442>. L'introduction résume les enjeux du développement technologique en agriculture. Puis, la notion d'adoption technologique est abordée de façon synthétique à travers les modèles « classiques » ainsi que le concept d'activité. Après avoir souligné l'importance des représentations dans le processus de conception, la méthodologie de la recherche-intervention est décrite. Une représentation possible de l'activité de conseiller est proposée en résultats, accompagnée de la construction, entre acteurs de la conception, d'une représentation partagée de cette activité. La conclusion-discussion interroge les apports de l'intervention ergonomique sur l'adoption des technologies.

Introduction

Cet article présente une intervention en ergonomie dans un projet de conception d'une technologie pour la viticulture. Il a pour objectif d'apporter des éléments de réponse à la question suivante : Comment l'intervention ergonomique en conception peut-elle favoriser l'adoption technologique ?

L'adoption technologique est envisagée à travers les notions d'acceptabilité, d'acceptation et d'appropriation, au sein d'un continuum allant de la conception à l'usage, en passant par l'implémentation (Barcenilla & Bastien, 2009 ; Bobillier-Chaumon & Dubois, 2009). Ces notions sont plus ou moins distinctes en fonction des auteurs et des nombreux cadres théoriques qui visent à comprendre l'usage des technologies et leur adoption (Sagnier, Loup-Escande, et Valléry, 2017). Adopter renvoie au choix, fait par un individu, d'utiliser un artefact technique dans une situation d'usage (Bobillier-Chaumon, 2013 ; Roussy, Ribier, & Chaib, 2015).

Cet article présente d'abord brièvement les enjeux du développement numérique en agriculture. Puis des modèles de l'adoption technologique sont décrits et analysés. L'intervention réalisée et ses résultats sont ensuite présentés. Enfin, les apports, de l'intervention ergonomique en conception sur l'adoption technologique, sont discutés.

2.1. Le conseil agricole et les technologies pour répondre aux enjeux de la viticulture ?

L'agriculture doit répondre à des enjeux de plus en plus forts, que ce soit sur le plan économique, environnemental ou sanitaire (Compagnon et Cerf, 2000). En 2018, le plan Ecophyto a imposé l'objectif d'une réduction de 50% de l'utilisation des pesticides. Ce plan implique une transformation profonde des pratiques. La viticulture, secteur historique et symbolique en France, est au centre des préoccupations du fait de sa dépendance aux produits phytosanitaires. En effet, les 3 % de la surface agricole utile française consacrés à la culture de la vigne reçoivent 17 % des intrants phytopharmaceutiques (Métral et al., 2012). Le modèle de la viticulture conventionnelle est remis en cause pour ces impacts sur l'environnement et sur la santé (Béguin et Pueyo, 2011 ; Garrigou et al., 2012 ; Moreiro, 2017). Comment changer les pratiques dans ce domaine complexe, particulièrement marqué par le poids de la tradition ? (Métral et al., 2012).

Parmi les vecteurs possibles du changement, le conseil agricole est présenté comme prometteur (Cerf et Hemidy, 1999 ; Cerf et Magne, 2007 ; Filippi et Frey, 2015 ; Van den Ban, 1998 ; Villemaine, 2013). Véritable facteur d'innovation en agriculture, le conseil agricole est cependant peu étudié (Desjeux, Faure, Gasselien, et Rebuffel, 2009). De très nombreux acteurs sont impliqués dans le conseil aux agriculteurs, qu'ils soient publics, parapublics (chambres d'agriculture, instituts techniques), privés (coopératives, groupements de producteurs, fournisseurs d'intrants, conseillers indépendants), organismes de recherche (INRA¹⁶, Irtsea/Cemagref¹⁷) ou syndicats (Filippi et Frey, 2015). Parmi ces nombreux acteurs, les coopératives ont une influence marquée (Villemaine, 2013), ce qui pourrait en faire des moteurs importants du changement de pratiques (Filippi et Frey, 2015).

Le conseil agricole proposé par ces coopératives connaît une importante numérisation, tout comme la filière agricole dans sa globalité avec le déploiement de diverses technologies : capteurs embarqués, logiciels, outils d'aide à la décision, équipements connectés, machines etc. (Isaac et Pouyat, 2015). Si les technologies ont un fort potentiel de transformation des pratiques agricoles (Moreiro, 2017), parfois concrétisé dans des études expérimentales (Ambrosio, Linehan, et Kaine, 2006 ; Cunha et al., 2010 ; Proffitt et Pearse, 2004, Rossi, Salinari, Poni, Caffi, et Bettati, 2014), leur adoption semble plutôt lente (Eastwood, Trotter, & Scott, 2013 ; Tey & Brindal, 2012). Pour Lamb, Frazier, et Adams (2008), ces problèmes d'adoption sont liés en partie à une conception poussée par les développeurs plutôt que tirée par les utilisateurs. Le fossé entre capacités des technologies et attentes des utilisateurs est encore important.

« L'adoption n'est pas aussi bonne que ce qu'elle pourrait/devrait être car les paradigmes, bien connus, de l'adoption des technologies ne sont pas suffisamment pris en compte » (Lamb, Frazier, et Adams, 2008 ; p.4 ; traduction du rédacteur).

¹⁶ Institut National de la Recherche Agronomique

¹⁷ Institut National de Recherche en Sciences et Technologies pour l'Environnement et l'Agriculture (anciennement Cemagref)

2.2. Approches théoriques de l'adoption technologique

2.2.1. Les modèles « classiques » de l'adoption technologique

L'adoption technologique est, depuis les années 60, un sujet d'étude majeur pour de nombreuses disciplines. Ce développement s'explique notamment par les espoirs placés dans les technologies : leur utilisation effective améliorerait la performance de l'entreprise (Février, Jamet, et Rouxel, 2008 ; Jawadi, 2014). Les recherches en ergonomie ont montré que l'introduction d'une technologie est rarement neutre. Il en découle des effets, qui peuvent être positifs et/ou négatifs, tant sur la performance (individuelle et organisationnelle) que sur la santé des utilisateurs. Ainsi, l'utilisation de la technologie est un objet de recherche important pour l'ergonomie (Caroly, 2007 ; Bobillier-Chaumon et Clot, 2016).

Les modèles de l'explication de l'usage des technologies et leur adoption sont très nombreux. On peut notamment citer les modèles « classiques » : la théorie de la diffusion de l'innovation (Moore et Benbasat, 1991 ; Rogers, 1983) ; les modèles de l'intention de l'utilisation comme le Technology Acceptance Model (Davis, 1989) et la Théorie Unifiée de l'Acceptation et de l'Usage des Technologies (Venkatesh, Morris, Davis, et Davis, 2003) ; les modèles de l'ingénierie de l'utilisabilité (Barcenilla et Bastien, 2009 ; Bastien et Scapin, 1993 ; Nielsen, 1994) et le modèle du succès des systèmes d'information (Petter, DeLone, et McLean, 2008).

Bien qu'apportant des éléments intéressants à l'étude de l'adoption technologique, ces modèles « classiques » sont porteurs de limites, tant épistémologiques (Brangier et al., 2010 ; Legris et al., 2003 ; Noy et Ruiz, 2007) qu'opérationnelles (Bobillier-Chaumon, 2016 ; Dillon et Morris, 1999 ; Wixom et Todd, 2005). Tout d'abord, ces modèles accordent une forte importance aux caractéristiques de la technologie en tant que déterminants de l'utilisation (Goodhue et Thompson, 1995). Ce côté déterministe et rationnel de la technique donne un rôle passif à l'utilisateur, qui rejette ou accepte la technologie en l'état. L'utilisateur n'est pas vu comme un utilisateur actif, qui peut transformer l'usage de la technologie et se développer à ses côtés (Brangier et al., 2010). Aussi, certains de ces modèles se concentrent sur le niveau individuel de l'adoption. Or, dans une situation professionnelle, l'utilisateur (ou opérateur) appartient inévitablement à un système sociotechnique de travail qui le met en relation de façon directe ou indirecte, avec d'autres personnes qu'il s'agisse de collègues, de supérieurs hiérarchiques, de clients, de fournisseurs, ou encore d'usagers. Ainsi, ces modèles déconnectent l'adoption technologique de la mobilisation de l'utilisateur dans les situations de travail (Bobillier-

Chaumon, 2016). L'analyse est sortie du contexte d'utilisation (Brangier et al., 2010) ce qui ne permet pas de comprendre finement les situations d'utilisation de la technologie (Bobillier-Chaumon, 2016). De plus, ces théories, souvent linéaires prennent peu en compte l'adoption dans son processus global, dynamique, de la conception à l'implantation jusqu'à l'usage à court et long terme. Finalement, ces modèles apparaissent limités d'un point de vue épistémologique de l'Homme en situation de travail (Bobillier-Chaumon, 2016). L'adoption technologique doit être explorée en lien étroit avec l'activité, comme le préconisent Goodhue et Thompson (1995), en particulier pour le domaine agricole, où :

« Le travail est souvent le point d'achoppement pour l'adoption d'une innovation »
(Rellier, Martin-Clouaire, Ciadella, Jeuffroy, & Meynard, 2011).

L'adoption d'une technologie passe par son adéquation avec l'activité des utilisateurs (Lamb et al., 2008 ; Temple, Bakry, et Marie, 2011).

2.2.2. L'adoption technologique dans l'activité

Dans la théorie de l'activité, les technologies sont représentées comme des outils insérés dans un contexte, qui jouent un rôle de médiateur entre le sujet et son action (Engeström, 2000 ; Reerink-Boulangier, 2012). Les modèles de la sociologie de l'usage (Jouët, 2000 ; Proulx, 2005), de la symbiose humain-technologie-organisation (Brangier et al., 2010, inspirée de Licklider, 1960), et de l'acceptation située (Bobillier-Chaumon, 2013), s'intéressent à l'adoption technologique dans une perspective proche de la théorie de l'activité. Ces cadres conceptuels ont un point de vue anthropocentré de l'adoption, au sein d'un système humain-technique-organisationnel, dans lequel l'adoption évolue de la conception à l'utilisation.

2.2.1. L'utilisateur, acteur de l'adoption technologique

Ces théories modèrent l'influence de la technique dans le processus d'adoption. La technologie ne s'impose pas à l'utilisateur. Dans des relations d'interdépendance homme-technologie-organisation (Brangier et al., 2010), l'utilisateur interprète, et réagit aux caractéristiques de la technologie et de son environnement (Bobillier-Chaumon, 2016). Les individus jouent un rôle actif, ne se contentent pas de recevoir positivement ou négativement la technologie (Moreiro, 2017). Les utilisateurs sont perçus comme des usagers, qui peuvent, dans un contexte situé,

façonner l'emploi de l'artefact en fonction de leurs buts et leurs valeurs (Jouët, 2000 ; Bobillier-Chaumon, 2013). L'adoption est issue de processus liés à la technique (la technologie détermine l'usage) et aux dimensions humaines et sociales (l'utilisateur détermine l'usage) (Bobillier-Chaumon, 2013). Technologie et utilisateurs évoluent ensemble au cours de ce que Rabardel (1995), cité par Bobillier-Chaumon (2016), appelle « la genèse instrumentale ». L'usage de la technologie transforme l'activité. La focale ne se porte plus sur l'adoption de la technologie mais l'adoption des nouvelles pratiques liées à son utilisation (Bobillier-Chaumon et Clot, 2016 ; Caroly, 2007), dans une perspective systémique.

2.2.2. Une approche systémique de l'adoption

L'adoption se construit dans les situations de travail, où les composantes humaines, techniques et organisationnelles interagissent au cœur de l'activité (Bobillier-Chaumon, 2016). L'utilité et l'utilisabilité doivent être analysées au regard du contexte, qu'il faut modéliser (Haué, 2003, cité par Haradji et Faveaux, 2006). La technologie n'est plus extérieure aux entités humaines et organisationnelles (Jawadi, 2014). La relation homme-artefact doit alors être étudiée dans un contexte historique, culturel, et social de l'activité humaine (Bobillier-Chaumon, 2013) pour dépasser la distinction entre acceptabilité opératoire et acceptabilité sociale (Brangier et al., 2010). L'adoption s'analyse non seulement dans une approche globale des situations de travail réel mais également dans une vision systémique de l'acteur, qui se mobilise dans ses dimensions biologique, cognitive, psychique et sociale (Daniellou, 1997, cité par Garrigou, Peeters, Jackson, Sagory et Carballeda, 2004). Roussy, Ribier, et Chaib (2015) soulignent que l'approche ancrée, fonction du contexte, est particulièrement importante pour comprendre l'adoption d'innovations agricoles, dans un domaine marqué par une forte variabilité au niveau des agriculteurs et des modes de production. On retrouve cette approche systémique dans la théorie de la cognition sociale (Ratten et Ratten, 2007) où individu, activité et milieu sont liés par des relations d'interdépendance qui évoluent dans le temps.

2.2.3. L'adoption technologique : un processus dynamique

Ces modèles théoriques définissent l'adoption technologique comme un processus en mouvement dans le contexte où se déroule l'activité. Les usages se construisent dans le temps (Jouët, 2000), de même que les besoins qui se redéfinissent dans l'activité (Bobillier-Chaumon, 2013) entraînant une évolution de l'adoption. Plusieurs étapes sont en relation dans lesquelles s'hybrident la découverte des fonctionnalités, le développement de savoir-faire, d'habiletés

(Jouët, 2000) et des évolutions de l'utilité perçue (Terrade, Pasquier, Reerinck-Boulanger, Guingouain, et Somat, 2009). L'adoption d'une technologie est un processus dynamique (Caroly, 2007), qui évolue de façon itérative de la conception à l'usage. On retrouve cette perspective évolutive dans la théorie de la disconfirmation des attentes (Oliver, 1980) qui donne de l'importance à la diachronie, en considérant deux temps différents et interdépendants : avant et après l'usage réel (Février, 2011). Avant usage, l'utilisateur se construit des attentes qui seront comparées aux résultats après usage. La confirmation des attentes renforcerait l'intention d'adopter et inversement (Oliver, 1980). Ces approches ne sont plus des modèles linéaires mais des processus dynamiques où l'usage est en interdépendance avec l'adoption. On retrouve également le caractère dynamique de l'adoption dans le modèle de Goodhue et Thompson (1995) où la notion de retour d'informations (feedback) lié à l'utilisation est importante. Les effets de l'utilisation (sur la performance individuelle dans ce modèle) réinterrogent la volonté d'utiliser à nouveau. Une technologie serait plus utilisée si les fonctionnalités disponibles soutiennent les activités de l'utilisateur (Kukafka et al., 2003). En conclusion, l'adoption est incertaine (Bobillier-Chaumon, 2013), dynamique et caractérisée par la recherche permanente, au cours de l'activité, d'un équilibre humain-technologie-contexte (Brangier et al., 2010).

2.2.4. La conception, une étape clé pour l'adoption

L'adoption d'une technologie ne se construit pas uniquement dans son utilisation. Elle trouve ses fondements et ses dynamiques dès la conception (Bobillier-Chaumon, 2013). La conception, tâche cognitive complexe, vise l'atteinte d'un but en fonction de ressources et de contraintes (Tricot & Plégat-Soutjis, 2003). Ainsi les représentations jouent un rôle fondamental dans le processus de conception (Akrich, 1993) qui rassemble des acteurs variés, aux logiques différentes (Daniellou, Escouteloup, & Beaujouan, 2011). Visser (2009) va même jusqu'à assimiler la conception à une « activité de construction de représentations ». Ces représentations peuvent concerner différents objets. Il peut s'agir des représentations sur le processus de conception, par exemple son but, ses objectifs, son état d'avancement, le rôle des différents acteurs etc. (Cahour, 2002 ; Tricot & Plégat-Soutjis, 2003). Les représentations peuvent aussi porter sur les produits de la conception, qu'il s'agisse de l'artefact à concevoir (Visser, 2009) ou des solutions envisagées (Cahour, 2002). Enfin, ces représentations peuvent être relatives aux utilisateurs/usagers et aux usages de l'artefact envisagé (Folcher, 2015). Dans cette diversité de représentations construites par les différents acteurs de projet, une catégorie semble avoir un impact puissant : les représentations des concepteurs quant à l'activité des

utilisateurs (Cerf et Meynard, 2006 ; Folcher, 2015). En effet, tout artefact « cristallise » les représentations des usagers et des usages, construites par les concepteurs (Béguin, 2007). Or, ces représentations peuvent être contradictoires (Folcher, 2015) et déconnectées du réel de l'activité (Béguin & Cerf, 2004). Ce constat est particulièrement marqué pour le travail agricole, qui est méconnu (Béguin et Pueyo, 2011 ; Desjeux, Faure, Gasselin, et Rebuffel, 2009). Les concepteurs peuvent par exemple construire leurs modèles, des usagers et des usages, à partir des exigences de la maîtrise d'ouvrage (Chevalier, Kicka, et Cegarra, 2004), à partir « du bon sens » ou de leur expérience personnelle (Akrich, 1993), ou encore sur la base d'une identification aux futurs usagers (Nicolas, 2000, cité par Béguin et Pueyo, 2011). Ces représentations se basent plus rarement sur une analyse de l'activité des utilisateurs, qui sont souvent mal définis (Caroly, 2007).

Pour résumer, agir pour soutenir les processus d'adoption technologique, c'est intervenir sur les représentations, de l'activité des utilisateurs, que mobilisent les concepteurs. Ici les représentations sont considérées en tant qu'ensemble d'entités propres à chacun, qui sont différentes, d'un point de vue extrinsèque, des choses qu'elles représentent (Greco, 1995). Elles sont issues d'une sélection des éléments jugés pertinents dans une situation complexe. Les représentations sont à la fois abstraites et utilitaires pour chaque acteur (De Montmollin & Amalberti, 1995).

Nous nous sommes interrogés, dans cette recherche, sur la capacité de l'intervention ergonomique à agir sur ces représentations pour favoriser les processus d'adoption. Quelles actions peuvent être mises en place pour favoriser l'adoption technologique dès le stade de la conception ? Cette intervention répond-elle aux limites des modèles « classiques » de l'adoption technologique ? Si oui, de quelle façon ? L'objectif de cet article est d'esquisser un début de réponse à ces questions, en présentant une intervention dans un projet de conception technologique dans le secteur de la viticulture.

2.3. Contexte de la recherche-intervention et méthodologie

La recherche-intervention se déroule dans le cadre d'un projet (juin 2016-juin 2020), soutenu par le Fonds Unique Interministériel (FUI), porté par une coopérative agricole, qui rassemble des partenaires privés, territoriaux, institutionnels et universitaires (dont un laboratoire de recherche en psychologie et ergonomie). Cette coopérative propose, depuis une demi-douzaine d'années, une prestation payante de suivi personnalisé à destination des viticulteurs adhérents.

L'ambition est de faire tendre les pratiques vers une agriculture agroécologique. L'agroécologie peut être définie comme un ensemble de pratiques, prônant une vision holistique des agrosystèmes, basées sur l'accroissement de la diversité biologique et l'optimisation des interactions biologiques pour augmenter quantité et qualité des productions, maîtriser les ravageurs et diminuer la dépendance vis-à-vis des intrants (Schaller, 2013).

L'objectif principal du projet est la modernisation de ce suivi personnalisé par le développement de plusieurs outils technologiques (outils logiciels d'aide à la décision, stations météo, outil d'analyse végétale etc.) à destination du conseiller en viticulture de la coopérative et des viticulteurs souscrivant à la prestation de conseil. Le présent article se concentre sur le travail réalisé en conception d'un des outils du projet : une application téléphone pour le conseiller agricole. L'application doit permettre au conseiller d'enregistrer des observations sur parcelle, de rédiger une préconisation et de l'envoyer à la quinzaine de producteurs suivis. La conception de cet outil est confiée à deux concepteurs d'une même entreprise. Ces acteurs travaillent pour une société d'informatique en agriculture. Les autres acteurs impliqués dans le processus de conception sont le conseiller, le gestionnaire projet de la coopérative et les deux intervenants ergonomes.

Ce travail s'appuie sur une recherche-intervention de type constructiviste (Perez, 2008). A partir d'une pratique réflexive, cette recherche vise à produire des connaissances sur l'action ergonomique de transformation (Béguin, 2004 ; Daniellou, Escouteloup & Beaujouan, 2011 ; Lecoester, Gaillard, Forrierre, & Six, 2018). L'intervention ergonomique s'est focalisée sur les représentations, de l'activité du conseiller, mobilisées par les concepteurs. Trois volets complémentaires ont structuré l'intervention :

1. Analyser l'activité de conseiller agricole pour en élaborer une représentation mobilisée par les ergonomes
2. Comprendre les représentations que les deux concepteurs ont de cette activité
3. Agir pour que les représentations de chacun permettent un travail commun nécessaire au processus de conception. Entre les différents acteurs, ces représentations peuvent se compléter, s'articuler, se partager, se discuter ou encore être mises en débat.

2.3.1. Analyser l'activité de conseiller agricole pour en élaborer une représentation mobilisée par les ergonomes

Nous avons d'abord utilisé l'analyse ergonomique pour nous construire une représentation de l'activité du conseiller agricole, c'est-à-dire « une représentation pertinente des besoins et des façons de faire » (Falzon, 2005). L'analyse de l'activité débouche sur une description (Bastien & Scapin, 2004) qui soutient la conception, en participant à la construction d'une représentation de l'activité des utilisateurs (Landry & Feillou, 2008). « Représenter le travail » pour « le rendre visible » (Béguin, 2007). Cette analyse s'est basée sur l'examen de documents ainsi que sur des observations de situations de travail accompagnées d'entretiens avec le conseiller agricole.

2.3.1.1. Analyses documentaires

Les analyses documentaires ont concerné deux niveaux : le niveau européen et national, ainsi que le niveau de la prestation de service proposé par la coopérative.

Le conseil en viticulture est soumis à un ensemble de textes, relatifs à la réglementation et aux bonnes pratiques agricoles. On peut citer les principales références suivantes :

- La réglementation conditionnalité de la Politique Agricole Commune (Arrêté du 30 décembre 2015 relatif à la mise en œuvre de la conditionnalité au titre de 2016, 2015)
- Les cahiers des charges suivis par les exploitations engagées dans le conseil personnalisé
- La certification pour l'activité de conseil à l'utilisation de produits phytopharmaceutiques (Arrêté du 30 juin 2014 modifiant l'arrêté du 25 novembre 2011 relatif au référentiel de certification prévu à l'article R.254-3 du code rural et de la pêche maritime pour l'activité « conseil indépendant de toute activité de vente ou d'application », 2014)
- La Charte du conseil coopératif émise par Coop de France (*Charte du conseil coopératif*, 2006).

Les analyses documentaires montrent que l'activité de conseil est fortement prescrite, particulièrement sur les préconisations d'interventions phytosanitaires et les apports d'engrais azotés. L'objectif explicite de ces réglementations est de limiter les impacts négatifs des pratiques agricoles sur l'environnement et les produits destinés à la consommation. De plus, les

pratiques viticoles sont soumises à des exigences croissantes de traçabilité. L'ensemble de ces prescriptions déterminent l'activité de conseiller agricole.

L'activité du conseiller qui a fait l'objet de cette étude, s'inscrit dans un contexte plus particulier, au cœur de la prestation de suivi personnalisé proposé par la coopérative. L'analyse documentaire a concerné :

- La plaquette de présentation du suivi personnalisé (détails et coût de la prestation).
- Six exemples de préconisations, envoyées à une même exploitation, lors de la campagne précédente.
- Deux guides papiers remis aux viticulteurs s'engageant dans le suivi personnalisé (pratiques de sécurité, caractéristiques techniques et réglementaires etc.).
- Un outil de traçabilité, sous forme de tableur informatique, utilisé par le conseiller.
- Un tableur de présentation de la quinzaine d'exploitations suivies par le conseiller (type de vignoble, surface suivie etc.).

Ces analyses documentaires nous ont permis de nous construire une première représentation de l'activité de conseiller.

2.3.1.2. Observations et entretiens

La compréhension de l'activité du conseiller agricole spécialisé vigne s'est basée sur une démarche de terrain avec des observations accompagnées d'échanges libres, au cours de journées de visites de parcelles. 9 journées d'observations (8 journées complètes, une ½ journée) ont eu lieu, de début février à fin août 2017, pour un total d'environ 70h d'observations. Ces journées d'observation papier-crayon ont permis de suivre le conseiller dans son activité lors des visites de parcelles (sur la quinzaine d'exploitations) et de s'entretenir librement avec lui, « sur le vif ». Ce recueil ouvert de données a notamment porté sur les actions réalisées par le conseiller (catégories de tâches annuelles, outils, collaborateurs etc.), la construction du conseil (objectifs, système d'informations mobilisé, difficultés etc.) et les interactions avec les viticulteurs (nature des échanges, moyens de communication etc.).

2.3.1.3. « Validation » de l'analyse ergonomique de l'activité

Les analyses documentaires et la démarche de terrain nous ont permis d'élaborer une première représentation de l'activité du conseiller sous forme de carte mentale. Ce schéma rassemblait les différentes informations mobilisées par le conseiller pour établir un conseil.

Une réunion spécifique, réalisée en novembre 2017, entre les acteurs de la coopérative (le conseiller en viticulture, un conseiller en arboriculture et le gestionnaire du projet) et les ergonomes, nous a permis d'échanger sur l'activité de conseiller. Cette étape a contribué à la construction d'une représentation commune, entre acteurs de la coopérative et ergonomes, concernant l'activité du conseiller étudié.

2.3.2. Comprendre les représentations que les deux concepteurs ont de cette activité

Pour comprendre les représentations des concepteurs, la construction sociale de l'intervention (Daniellou, 2004) a été déterminante, afin de « développer les interactions pertinentes » et de « se poser des questions communes » sur l'activité de conseiller (Tricot & Plégat-Soutjis, 2003). Ce positionnement d'ergonomes en tant qu'acteurs de la conception, au sein de la maîtrise d'œuvre, s'est matérialisé par deux types de communications :

- Des communications avec tous les acteurs du projet, lors des cinq réunions de pilotage et des réunions de conception (une quinzaine de rencontres entre concepteurs, conseiller, gestionnaire de la coopérative, ergonomes) réalisées sur la période septembre 2016 - juin 2018.

- Des communications ergonomes/concepteurs, par mails et téléphone (avec une dizaine d'appel, de 1h30 en moyenne, entre juin 2017 et juin 2018). Ces échanges « privés » avec les deux concepteurs, étaient centrés sur l'activité de conseiller. Ils visaient à « faire parler » les concepteurs sur cette activité et à leur poser des questions.

Les dates de ces deux types de communications ont été répertoriées dans un carnet de bord, accompagnées de remarques concernant les représentations de l'activité de conseiller.

2.3.3. Agir pour que les représentations de chacun permettent un travail commun nécessaire au processus de conception

Après les phases d'élaboration et de compréhension des représentations de l'activité de conseiller, l'intervention visait à favoriser « l'ajustement cognitif » (Cahour, 2002) entre

acteurs de la conception. Par des actions d'argumentation et de négociation (Falzon, 2005), l'objectif était de favoriser « la confrontation entre le monde des concepteurs et celui des utilisateurs » (Daniellou, Escouteloup, & Beaujouan, 2011). L'analyse ergonomique de l'activité et les récits de situation de travail, en portant la connaissance du réel (Folcher, 2015), ont servi « de traits d'union » entre les représentations des différents acteurs.

2.4. Résultats

La recherche-intervention a conduit à des « résultats immatériels liés à l'interaction intervenant-acteurs de l'entreprise » (Teiger, 2007, cité par Landry, 2008) sur les représentations de l'activité de conseiller agricole, activité longtemps ignorée par les recherches (Cerf et Magne, 2007). L'analyse de l'activité porte sur le travail de conseiller dans ce contexte particulier du suivi personnalisé proposé par cette coopérative. Elle n'a pas vocation à être représentative de la variété des conseillers agricoles (Filippi et Frey, 2015). Elle s'inscrit plutôt dans une logique contextualisée (Perez, 2008).

2.4.1. Une représentation possible de l'activité de conseiller

L'analyse ergonomique du travail a mené à une représentation de l'activité de conseiller, construite entre ergonomes et acteurs de la coopérative (conseiller et gestionnaire) :

- Les objectifs du conseil

L'objectif global du conseil, décrit par le conseiller, est de parvenir à un vignoble « équilibré », en garantissant un bon état physiologique et sanitaire de la vigne, pour la campagne en cours mais également pour les campagnes suivantes. Cet objectif général doit être atteint via une agriculture intégrée et raisonnée comme le décrit la plaquette de présentation de la prestation. Le but du conseiller est d'agir en prévention (surtout pour les maladies cryptogamiques), c'est-à-dire avant que les symptômes d'une maladie ou d'un parasite ne se manifestent. Cette stratégie vise à réduire l'emploi de produits phytosanitaires correctifs, considérés comme plus néfastes. Conseiller c'est donc anticiper les risques.

Le conseil, individuel ou collectif, est varié (ex : interventions phytosanitaires, intervention en fertilisation, mesures prophylactiques, travail du sol, opérations en vert). Il s'applique à la vigne, objet central dans le travail du conseiller. Cet objet est un système biologique à ciel

ouvert soumis à de nombreuses variabilités, par exemple climatiques (températures, précipitations, ensoleillement, orages etc.) ou biologiques (apparition de ravageurs, évolution des pressions etc.). Il implique de la réactivité de la part du conseiller et des arbitrages réguliers entre les enjeux économiques (rendement de la parcelle, qualité des raisins, coûts des interventions, respect des cahiers des charges etc.), réglementaires (dose maximale pour un produit phytosanitaire, nombre maximal d'applications à l'année, période d'usage autorisé, délai avant récolte etc.), sanitaires (santé des viticulteurs, santé des consommateurs) et environnementaux (préservation des écosystèmes).

- Les communications au cœur du métier

Les observations montrent l'aspect central de la communication entre le conseiller et les producteurs suivis. Ces résultats sont en accord avec ceux de Compagnon et Cerf (2000). Cette communication se manifeste par :

- Des débriefings avec le producteur suite à la visite de ses parcelles. En fin d'observation, le conseiller fait un point avec le producteur, sur l'état des vignes et les prochaines opérations, en présentiel (directement à la parcelle ou à l'exploitation) ou au téléphone.
- Des échanges permanents conseiller-producteur par appels téléphoniques, SMS, mails, en plus des débriefings de visite de parcelle.
- Des échanges d'informations du conseiller vers le producteur mais également du producteur vers le conseiller (par exemple sur des observations faites par les viticulteurs, sur des interventions qu'il a réalisées, sur des données météo locales comme la grêle ou le gel).

Cette communication traduit une co-construction de la préconisation, à partir d'un partage d'informations (données météo, observations sur parcelle, réglementations phytosanitaires etc.) et d'une résolution collaborative de problème.

- Le système d'information mobilisé

Les observations, les entretiens et l'analyse de l'outil traçabilité utilisé par le conseiller montrent que la construction d'une préconisation se base sur un système d'information (Cerf & Magne, 2007) composé d'une dizaine de paramètres :

- Les caractéristiques du vignoble (ex : cépages présents, topographie).
- La météo passée et prévisionnelle.

- Les données du secteur géographique (météo, pressions ravageur/maladie etc.). Ces informations sont issues de la participation à la rédaction de bulletins techniques, ainsi qu'au suivi d'exploitations voisines.
- Le programme prévisionnel (ou programme de morte-saison). Etabli lors d'un rendez-vous avec le producteur en hiver, ce programme planifie les traitements qui seront réalisés la campagne suivante.
- Le réseau de pièges (papillon Eudémis). Propriétés de la coopérative, ces pièges sont installés chez des producteurs adhérents et volontaires. Le relevé de données est assuré par le conseiller.
- Les caractéristiques et les analyses de sol. L'adhésion au suivi personnalisé offre au producteur une analyse de sol avec interprétation. Elle permet d'établir les caractéristiques du sol et ses propriétés.
- Les données liées aux intrants (produits phytosanitaires et fertilisants). Ces données sont de deux types. D'une part, les paramètres réglementaires fixés par la loi : dose, mélange, délai avant récolte etc. D'autre part, les données techniques : nature du produit (contact, systémique, pénétrant), durée de vie, durée de séchage, conditions de lessivage etc.
- Les informations en provenance du producteur : (interventions réalisées sur la parcelle, données météo locales, observations etc.).
- L'historique de la parcelle. Il correspond à l'ensemble des données accumulées sur les campagnes précédentes, notamment les programmes de fertilisation ou les problèmes de ravageurs/maladies.
- La modélisation des risques. Plusieurs outils d'aide à la décision (OAD) sont à la disposition du conseiller à son bureau, notamment pour les maladies cryptogamiques. Ces logiciels fournissent une évaluation du risque à partir de différentes données (météo etc.).
- Les traitements obligatoires. La réglementation impose des interventions contre certains ravageurs, notamment la cicadelle de la flavescence dorée.

Ces paramètres sont intégrés, de façon isolée mais le plus souvent en interaction, dans la construction du conseil. Aussi, certains de ces paramètres peuvent constituer une justification du conseil (ex : traitements obligatoires) tandis que d'autres (ex : données sur le secteur géographique) alimentent le schéma décisionnel du conseiller mais ne peuvent justifier à eux-seuls le conseil.

2.4.2. Les représentations des concepteurs sur l'activité de conseiller

Cinq points saillants peuvent être cités dans les représentations initiales des concepteurs sur l'activité de conseiller :

- « *Le conseil est forcément un traitement phytosanitaire* ». La nature du conseil serait uniquement un traitement phytosanitaire, c'est-à-dire un épandage de produits phytopharmaceutiques. Cette représentation peut s'expliquer par les enjeux de respect de la réglementation, particulièrement lourde pour ce type de conseil.
- « *La préconisation est uniquement issue de l'observation de parcelle* ». Chaque conseil découlerait d'observation de symptômes de ravageurs/maladies sur la vigne. Ce seraient les dégâts visibles qui entraîneraient une préconisation phytosanitaire.
- « *Le conseil doit reprendre les observations réalisées sur le terrain* ». Ces observations seraient nécessaires pour justifier un conseil. Cette représentation trouve une partie de son origine dans une mauvaise interprétation de la certification pour l'activité de conseil à l'utilisation de produits phytopharmaceutiques. Ce texte précise que le conseil doit reprendre « les observations ». Cependant les éléments observés font référence à tout type de justification objective du conseil (ex : alerte météo, Bulletin de Santé Végétale, données OAD).
- « *La préconisation est une succession linéaire d'étapes, de l'identification des symptômes sur parcelle à la sélection d'une intervention phytosanitaire associée* ». Cependant, les observations indiquent des situations plus variables. Par exemple, le conseiller n'est pas en mesure de reconnaître les symptômes directement sur la parcelle et doit « poursuivre son enquête » au bureau.
- « *La préconisation concerne uniquement l'exploitation sur laquelle a été réalisée la visite de parcelle* ». La représentation initiale des deux concepteurs est un conseil uniquement individuel.

2.4.3. Ajustement cognitif entre acteurs de la conception

Ces représentations initiales des deux concepteurs sur l'activité de conseiller ont évolué au cours du projet. Ces évolutions se manifestent notamment par les verbalisations de ces deux acteurs dans les différents espaces de la conception (réunions de pilotage, réunions de conception, échanges ergonomes/concepteurs). Ces deux acteurs sont passés d'un

positionnement de « connaisseur de l'activité de conseiller » à un positionnement de « demandeurs d'informations sur cette activité ». Ce changement de positionnement pourrait être le résultat du travail de « déconstruction des représentations initiales ». Par la prise en compte de la diversité des situations d'activité (Folcher, 2015), l'intervention ergonomique a contribué à la réduction des « décalages sociocognitifs » (Cahour, 2002), entre concepteurs et acteurs de la coopérative, sur l'activité de conseiller. Le tableau suivant présente des exemples de décalages sociocognitifs, entre concepteurs et acteurs de la coopérative, sur l'activité de conseiller :

Représentation initiale des concepteurs	Représentation issue de l'analyse ergonomique
L'objectif du conseil est d'assurer le bon état sanitaire de la vigne.	L'objectif du conseil est d'assurer le bon état sanitaire et physiologique de la vigne.
Les symptômes, visibles sur parcelle lors des observations, entraînent une préconisation.	Il faut intervenir en prévention, c'est-à-dire avant de voir les symptômes.
Le conseil est une intervention phytosanitaire.	La nature du conseil varie : interventions phytosanitaires, interventions en fertilisation, opérations en vert (ex : écimage), travail du sol, irrigation, interventions prophylactiques...
Le conseil concerne 1 viticulteur.	Le conseil peut concerner 1 ou plusieurs viticulteurs.
La justification du conseil est forcément l'observation sur parcelle.	La justification du conseil est variée : observations sur parcelle, modélisation d'OAD (outils d'aide à la décision), alerte météo, réglementation...
Le conseil est une suite linéaire d'étapes, de l'identification de symptômes sur parcelle à la préconisation.	Les observations sont intégrées au système d'information composé d'une dizaine de paramètres.

Tableau 6 : Décalages socio-cognitifs entre concepteurs et acteurs de la coopérative

Le travail sur les représentations de l'activité de conseillé (élaboration d'une représentation entre ergonomes et acteurs de la coopérative, identification des représentations des deux concepteurs, ajustement cognitif) a demandé du temps et une immersion dans le projet en tant qu'ergonomes acteurs de la conception. Les évolutions de représentations des concepteurs sur l'activité des futurs utilisateurs se sont traduites dans une nouvelle version du cahier des charges

de l'application téléphonique pour conseiller, actuellement en cours d'analyse dans le cadre du projet. Nous espérons que cette transformation du cahier des charges concrétisera la contribution de la recherche-intervention en termes de « résultats matériels sur la situation à transformer » (Teiger, 2007, cité par Landry, 2008).

2.5. Discussion et conclusion

Cet article visait à investiguer le lien entre l'intervention ergonomique en conception et l'adoption technologique. Quelles actions peuvent être mises en place pour favoriser l'adoption technologique dès le stade de la conception ? Cette intervention répond-elle aux limites des modèles « classiques » de l'adoption technologique ? Si oui, de quelle façon ?

Les apports d'une intervention ergonomique (Lecoester, Gaillard, Forrierre, & Six, 2018), menée dans un projet de conception d'application mobile pour conseiller viticole, ont été étudiés à partir d'une pratique réflexive (Béguin, 2004 ; Daniellou, Escouteloup, & Beaujouan, 2011). La recherche-intervention menée a conduit à deux types de résultats.

Premièrement, l'analyse ergonomique a débouché sur un « portrait objectif » (Teiger, 2007, cité par Landry, 2008) de l'activité de conseiller en montrant la diversité des situations d'activité (Folcher, 2015). L'analyse de l'activité n'a pas été utilisée ici comme aide directe à la conception d'un outil ou la mise en place d'une démarche projet (Landry & Feillou, 2008), mais comme support de la construction d'une représentation partagée de l'activité des utilisateurs. Ce portrait a souligné les objectifs du conseil (contribuer à l'équilibre sanitaire et physiologique de la vigne, pour la campagne en cours et les suivantes, par des pratiques raisonnées et intégrées, en privilégiant la prévention), ainsi que sa variabilité (dans la nature du conseil et la portée des destinataires). Le conseil est marqué par la nécessité de réactivité pour préconiser des interventions sur un système biologique à ciel ouvert. La co-construction de la préconisation, entre conseiller et viticulteur, se réalise à partir d'un système d'information composé d'une dizaine de paramètres aux interactions variées (complémentaires et/ou conflictuelles) entraînant des compromis pour concilier les enjeux économiques, réglementaires, sanitaires et environnementaux. Les communications avec les viticulteurs suivis occupent une place majeure, pour résoudre collectivement les problèmes et partager des informations sur le système biotechnique. Les producteurs y tiennent un rôle d'acteur et pas

seulement de destinataire de la préconisation. Nous espérons que cette analyse participera à la (re)connaissance du travail, peu étudié (Cerf & Magne, 2007), de conseiller agricole.

Deuxièmement, la recherche a mis en évidence les effets de l'intervention ergonomique sur les ajustements sociocognitifs entre acteurs de la conception. « La synchronisation cognitive » (Falzon, 2005) s'est réalisée à travers trois étapes : élaborer une représentation de l'activité avec l'analyse ergonomique, identifier les représentations des concepteurs, ajuster les « décalages sociocognitifs » (Cahour, 2002) par la construction d'une représentation commune (Tricot & Plécat-Soutjis, 2003) de l'activité de conseiller. La construction d'une représentation partagée de l'activité de conseiller, entre acteurs de la conception, a rencontré plusieurs obstacles. D'une part, le terme de « conseiller agricole » renvoie à une grande diversité de métiers et de positionnements (Filippi & Frey, 2015). Ce polymorphisme favorise donc la diversité des représentations possibles de cette activité. Ensuite, il a fallu préalablement « déconstruire les représentations » des deux concepteurs sur l'activité de conseiller, basées sur leur expérience personnelle (Akrich, 1993) aux côtés, non pas de conseillers agroécologiques, mais de conseillers technico-commerciaux (Filippi & Frey, 2015). Ce travail d'identification des représentations et de construction d'une représentation partagée, a nécessité du temps et une certaine légitimité. Nous pensons qu'il contribue au développement d'un « bon ingrédient de la conception » : une relation de confiance entre concepteurs et utilisateurs (Loup-Escande et al., 2015). Le positionnement en tant qu'acteurs de la conception et la construction sociale de l'intervention (Daniellou, 2004) nous semblent être deux aspects déterminants. C'est en quittant la position de chercheur observateur (Perez, 2008), pour celle d'intervenant, que cette recherche a pu être menée. Nous espérons que ce travail contribuera notamment au champ de recherche sur la pratique de l'ergonomie (Petit, Querelle, & Daniellou, 2007).

Pour conclure, nous pensons que l'intervention ergonomique en conception peut pallier certaines limites des modèles théoriques « classiques » de l'adoption technologique. En premier lieu, cette intervention se positionne au stade de la conception, étape décisive de l'adoption et pourtant ignorée dans de nombreux cadres conceptuels. De plus, l'intervention ergonomique est tournée vers la transformation à partir de l'analyse des situations de travail réel. Dans le projet présenté ici, l'intervention ergonomique a contribué à des modifications concrètes de l'application envisagée. Le cahier des charges a été profondément revisité pour que l'outil « colle » au plus près de l'activité du conseiller, dans une démarche visant à mettre en avant les

besoins des utilisateurs (Lamb, Frazier, et Adams, 2008). C'est ainsi que l'intervention ergonomique en conception peut esquisser un début de réponse au constat fait par Joannon et al. (2005), cités par Rellier, Martin-Clouaire, Ciadella, Jeuffroy, et Meynard (2011) : « le travail est souvent le point d'achoppement pour l'adoption d'une innovation ». Enfin, l'intervention ergonomique a concouru à la construction d'un collectif de conception, associant gestionnaires de la coopérative, concepteurs et futur utilisateur dans une démarche participative. La présence des futurs utilisateurs est une condition nécessaire mais pas suffisante. La démarche ergonomique a constitué un point d'appui, un soutien à la participation du conseiller, en centrant les débats sur le récit de situations de travail réel. Ainsi, l'intervention a favorisé l'implication du futur utilisateur en tant qu'acteur de la conception (Eastwood, Trotter, & Scott, 2013). Ces trois aspects de l'intervention ergonomique (déroulée au stade de la conception, basée sur le travail réel et portée par un collectif de conception où l'utilisateur est acteur) apparaissent comme des facteurs favorables à l'adoption technologique. Bien entendu, ce rôle de l'intervention ergonomique comme « facilitateur de l'adoption » n'est qu'une première étape du processus complexe et dynamique de l'adoption technologique. Cette intervention doit être complétée par des tests utilisateurs (Bastien & Scapin, 2004) avant implémentation puis par des analyses régulières des usages (Bobillier-Chaumon, 2016). En effet, pour toute conception, et peut-être d'autant plus pour celle d'une application téléphonique, « la conception se poursuit dans l'usage » (Rabardel, 1995).

Cet article ouvre des perspectives pour la recherche évaluative (Landry, 2008) afin d'approfondir la compréhension des effets des interventions ergonomiques en conception sur l'adoption technologique.

Ce 2^{ème} chapitre empirique a porté sur le rôle de l'intervention ergonomique en conception. Le chapitre suivant porte sur l'étude de la recherche visuelle d'Eudémis pour contribuer à anticiper l'utilisation future du piège connecté.

3. Anticiper des problèmes d'adoption : simulation expérimentale d'une tâche future

3.1. Introduction

1.1. La gestion actuelle du risque Eudémis par le conseiller

La gestion actuelle du risque Eudémis par le conseiller a été investiguée lors de l'analyse de l'activité de conseiller agricole (cf. III.2.2). Cette gestion repose sur 2 outils : (i) un OAD, utilisé au bureau (modélisation du cycle de vie en fonction de la météo) (ii) une quinzaine de pièges à phéromones (cf. I.2.3) répartis dans les parcelles des 2 terroirs (cf. III.1.3). L'emplacement de ces pièges visent à quadriller la zone d'action de la coopérative pour avoir une vision sectorielle d'une part, et suivre l'évolution d'Eudémis dans les zones les plus à risque d'autre part. Ainsi, les pièges peuvent se trouver dans des parcelles suivies par le conseiller, comme dans des parcelles qui ne sont pas engagées dans la prestation de conseil. Le conseiller assure le relevé des pièges, de début avril à fin septembre, en se déplaçant, une fois par semaine, sur la quinzaine d'emplacements. Il dénombre les Eudémis capturés sur la plaque de glu (de 0 à 110 selon ses relevés sur les 3 dernières années) et assure la maintenance du piège (remplacement de la capsule de phéromone [durée de vie d'un mois] et de la plaque de glu [entre 1 fois/semaine et 1 fois/2 semaines en fonction de sa saturation]). Ce relevé nécessite une journée de travail complète. Le nombre d'Eudémis est ensuite saisi informatiquement sur un tableur, au bureau (cf. figure 15). L'objectif est de repérer le pic de vol, sur les 2 terroirs, pour chaque génération d'Eudémis. Il est alors possible de déterminer le moment de l'éclosion des œufs dans la parcelle pour positionner une intervention phytosanitaire de type ovo-larvicide.

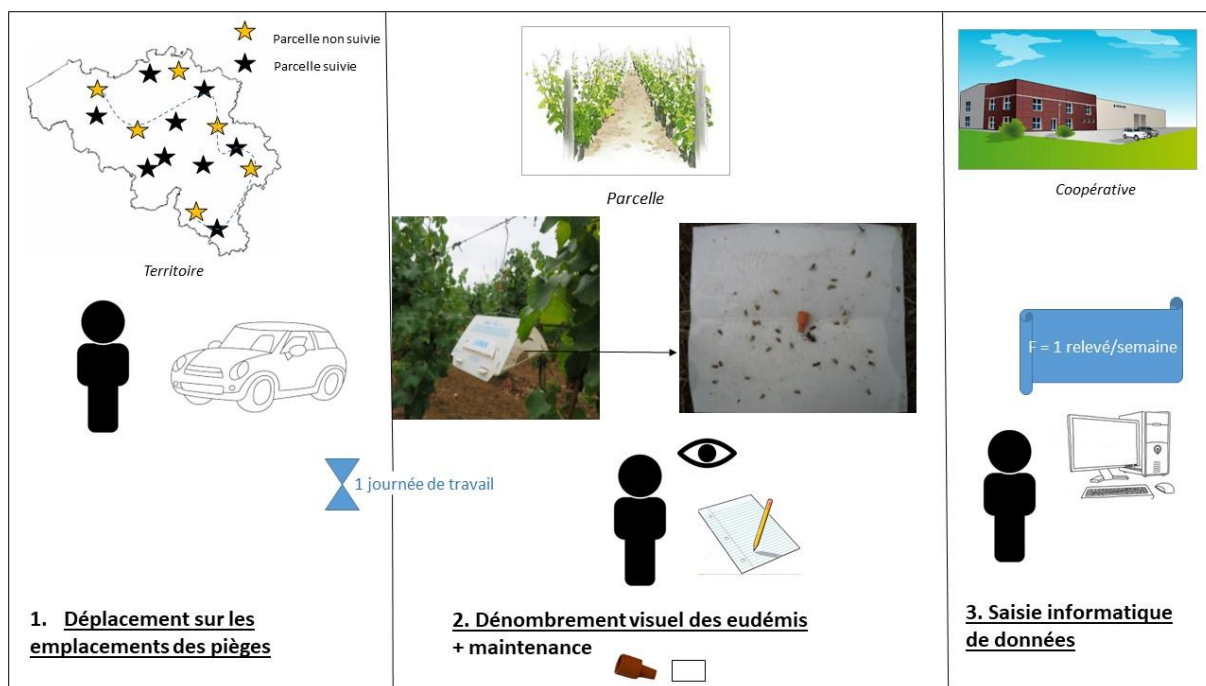


Figure 15 : Gestion actuelle du risque Eudémis par le conseiller

Cette gestion actuelle du risque Eudémis pose 2 problèmes : (i) des déplacements chronophages (1 journée de travail/semaine pour le relevé sur l'ensemble des parcelles) (ii) et une fréquence de relevé trop faible (1 relevé/semaine et par exploitation). Pourtant, comme le souligne Thiéry (2006, p56), il est crucial « d'examiner le piège le plus fréquemment possible », pour évaluer les risques pour la culture et dépister l'infestation (Aubertot et al., 2005 ; Carpentier, 1996). L'incertitude engendrée par cette faible fréquence de relevé est exprimée par le conseiller lors des entretiens. Il déplore un manque de précision dans le positionnement de l'intervention culturale de lutte contre Eudémis. Le piège connecté développé dans le cadre du projet VitiOptimum devait donc répondre aux 2 problèmes actuels du conseiller dans son activité, et soutenir une gestion plus réactive du risque Eudémis.

1.2. La gestion du risque Eudémis envisagée en conception

Composition du piège

Le piège connecté est suspendu au fil releveur de la vigne, comme le piège manuel, et suit le même principe de fonctionnement : une capsule de phéromone attire les mâles Eudémis qui sont capturés sur une plaque de glu. Ses principaux éléments constitutifs sont : une plaque de

glu, une capsule de phéromone, une caméra et un système d'éclairage. Une enveloppe rigide, ouverte pour permettre l'entrée des papillons, assure la protection de ces éléments.

Autonomie

D'un point de vue énergétique, le piège est autonome sur l'ensemble de la saison grâce à des panneaux solaires. Un système automatique est envisagé pour remplacer la plaque de glu lorsqu'elle est saturée d'Eudémis mâles capturés. En revanche, aucun automatisme n'est prévu pour le remplacement de la capsule de phéromone. L'autonomie maximale prévue pour le piège est donc de 1 mois (durée de vie de la capsule).

Connexion

Pour être adaptée aux faibles réseaux dans les parcelles, la machine est prévue pour fonctionner en 2G, réseau qui couvre quasiment l'intégralité du territoire français.

Fonctionnement

L'acquisition de la donnée, réalisée par la caméra (prise de photo) fait suite à l'éclairage de la plaque de glu. Cette prise photo est quotidienne (envisagée en début de journée).

Le système d'identification repose alors sur 2 étapes. La première est réalisée en local, au niveau du piège, dans le champ. C'est une segmentation des différents items présents sur la photo. Seuls les items correspondant à Eudémis sur des critères de forme et de taille sont sélectionnés puis envoyés au serveur sous forme d'images (cf. figure 16). La seconde étape est réalisée en ligne. L'intelligence artificielle analyse les images reçues et catégorise les items

en Eudémis » ou « pas Eudémis » avec un score de certitude associé (cf. figure 16).

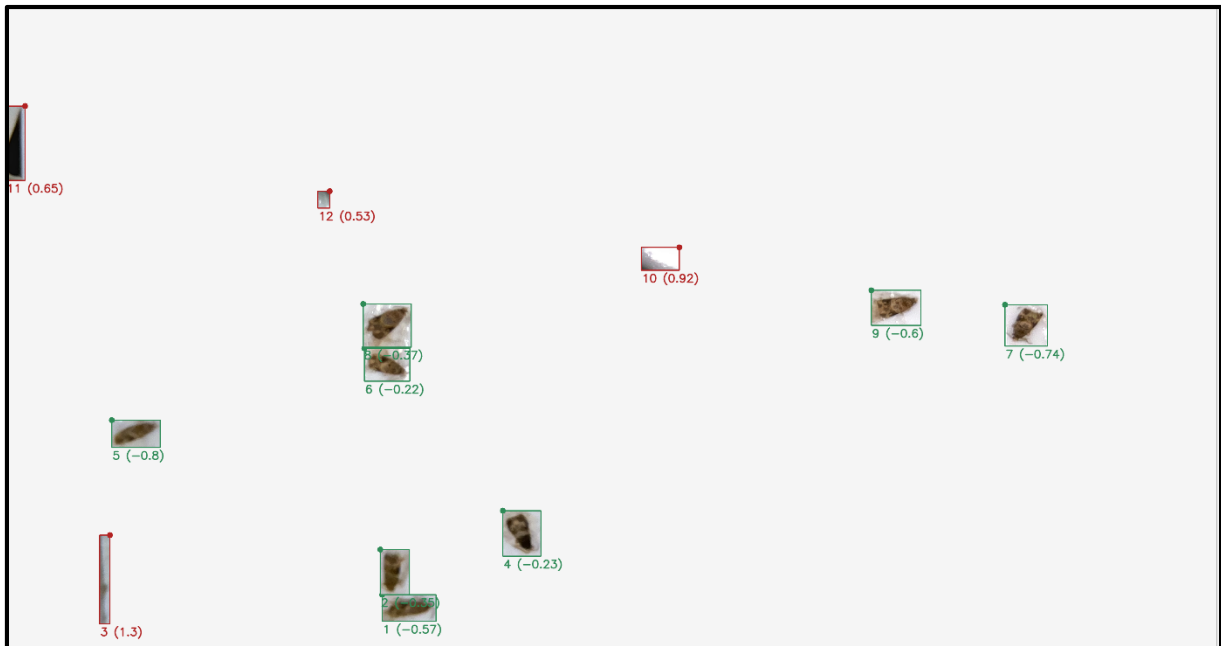


Figure 16 : Exemple d'imagette envoyée par le piège automatique

Le système envoie alors 2 types de données au conseiller (cf. figure 17), consultables sur le système d'information géographique (cf. I.1.2) : (i) le nombre d'Eudémis identifiés dans un piège donné, (ii) les imagettes analysées par la machine (sur demande du conseiller).

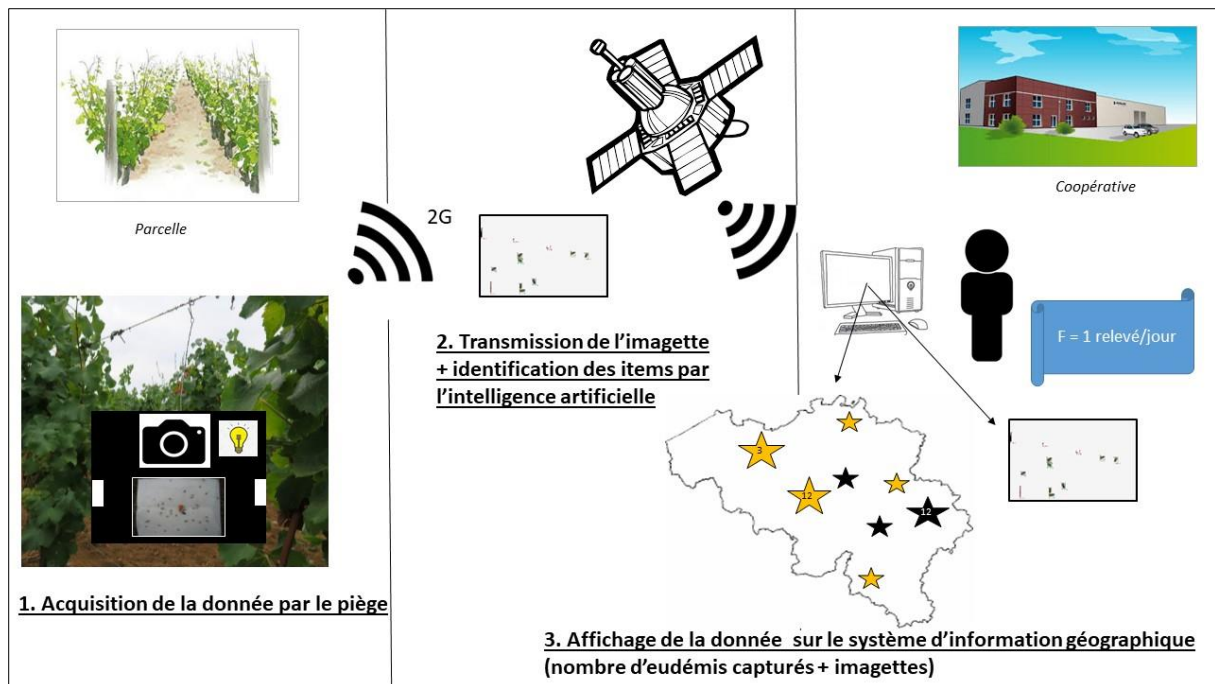


Figure 17 : Gestion du risque Eudémis envisagée en conception

Sur ces imagerie, le conseiller devra alors réaliser l'identification des Eudémis. D'un point de vu cognitif, cette tâche d'identification implique le processus de recherche visuelle.

1.3. Le processus de recherche visuelle

La recherche visuelle est mise en œuvre lorsqu'un individu souhaite trouver un élément cible parmi un ensemble de distracteurs (Lindsey et al., 2010). Le déploiement de l'attention sur les différentes zones de la scène visuelle n'est pas aléatoire. Il est influencé d'une part par des facteurs exogènes, ascendants (bottom-up), relatifs à « ce que l'on voit », et d'autre part par des facteurs endogènes, descendants (top-down), relatifs à « ce que l'on sait sur ce que l'on voit » (Chen & Zelinsky, 2006).

Un des modèles les plus populaires de la recherche visuelle est la Feature Integration Theory, proposé en 1980 par Treisman et Gelade. Dans leur expérience, en condition de recherche disjonctive, les participants devaient identifier une cible (qui peut être un T bleu, un X bleu, un S marron ou un S vert) parmi des distracteurs (T marron et X vert). La cible est alors un singleton, c'est-à-dire qu'elle possède un trait unique (soit la couleur bleue, soit la forme S) qu'aucun des distracteurs ne possède. Treisman et Gelade (1980) observent alors l'effet « pop-out » : la cible « saute aux yeux » quel que soit le nombre de distracteurs présents (1, 5, 15 ou 30). Augmenter le nombre de distracteurs n'entraîne pas de variation significative du temps d'identification de la cible. Dans la condition de recherche conjonctive, les participants devaient identifier un T vert parmi des distracteurs T marron et X vert. La cible est alors caractérisée par une conjonction de traits visuels : certains distracteurs ont la même forme (T marron), d'autres ont la même couleur (X vert), mais la cible est le seul item à posséder la conjonction forme de T et couleur verte. Treisman et Gelade (1980) observent qu'une augmentation du nombre de distracteurs engendre une augmentation du temps d'identification de la cible. Ils en concluent qu'il existe 2 types de recherches distinctes : parallèle et sérielle.

La recherche visuelle menée en parallèle (traitement quasi-simultané de tous les items visuels) sur un nombre limité d'attributs (couleur, taille, mouvement etc.), est automatique, ne mobilise pas l'attention, est peu coûteuse en ressources de traitement et s'observe dans la condition où la cible est un singleton. Certains objets saillants peuvent ainsi attirer l'attention de façon automatique (Belopolsky & Theeuwes, 2010) en fonction de leurs caractéristiques visuelles. Les travaux ont essayé de définir quels traits peuvent guider la recherche visuelle parallèle.

Wolfe & Horowitz (2017) synthétisent ces recherches. La couleur et la taille sont des traits visuels sans aucun doute guidant tandis que la forme est probablement un trait guidant. Si la cible est un singleton sur un de ces traits, elle peut être détectée par une recherche parallèle. La recherche sera alors efficace quel que soit le nombre de distracteurs. Pour Duncan et Humphreys (1989), la saillance des objets pouvant attirer automatiquement l'attention est déterminée par la similarité, à la fois entre la cible et les distracteurs, et entre les distracteurs. Dans leur expérience, les participants doivent identifier la cible (L ou T inclinés à 45°) parmi des distracteurs homogènes (T droit **ou** T inclinés à 90°) ou hétérogènes (T droit **et** T inclinés à 90°). Leurs résultats montrent que l'efficacité de la recherche visuelle décroît quand la similarité cible-distracteurs augmente et quand la similarité entre distracteurs diminue. Alexander & Zelinsky (2012) étudient eux aussi l'effet de la similarité cible-distracteurs, mais pour des objets réalistes plus complexes. Dans leur expérience, les participants doivent repérer la présence d'un ours en peluche cible parmi 8 ours. Ils partagent 0, 1, 2 ou 3 parties (tête, paire de bras, paire de jambes, tronc) avec la cible. Les chercheurs remarquent une augmentation du nombre de faux positifs et du temps d'identification de la cible quand la similarité cible-distracteurs augmente.

La recherche visuelle sérielle (un item visuel après l'autre) est contrôlée, ne mobilise pas l'attention et s'observe dans la condition où la cible est une conjonction de traits visuels.

Dans la Feature Integration Theory, recherche parallèle et sérielle sont dichotomiques (Patel & Sathian, 2000). Certaines tâches visuelles sont réalisées à la première étape tandis que d'autres requièrent des traitements en série (Wolfe, 2007). Pour Wolfe et collaborateurs (1989), ces 2 types de recherche visuelle ne sont pas distinctes mais se situent plutôt sur un continuum de l'efficacité du processus. Elles sont complémentaires et parfois difficilement distinguables. La recherche automatique va guider la recherche sérielle. Dans le Guided Search Model (cf. figure 18), la première étape est une recherche automatique sur de larges portions du champ visuel (Wolfe, 1989 ; 1994 ; 2007). Les différentes localisations de la scène sont traitées en parallèle. A ce stade, seules les informations relatives aux traits basiques (ex : couleur, mouvement, orientation etc.) sont extraites, de manière grossière. Ces informations déterminent l'activation exogène, ascendante de cartes de traits. Chaque localisation de la scène visuelle est alors catégorisée (ex : tel endroit contient un item de telle couleur et de telle orientation). Un item devient saillant en fonction de l'intensité des différences, en termes de traits basiques, qu'il entretient avec les items voisins. L'activation endogène, elle, est liée aux connaissances de l'individu sur la scène visuelle. Pour Wolfe (2007), ces connaissances sont relatives aux

propriétés désirées de la cible, aux traits basiques qu'elle possède (ex : item noir orienté verticalement). La carte d'activation va alors guider l'attention sur les zones de la scène visuelle contenant des items répondant à ces caractéristiques (ici tous les items noirs orientés verticalement repérés lors de la recherche parallèle). Ainsi, en combinant des données endogènes et exogènes, l'attention est guidée sur un petit nombre d'objets jugés les plus prometteurs pour être la cible (Wolfe & Horowitz, 2017). Ils sont alors inspectés de façon plus approfondie lors de la recherche sérielle. L'attention inspecte chaque item l'un après l'autre pour le classer en cible ou distracteur (Wolfe, 2007).

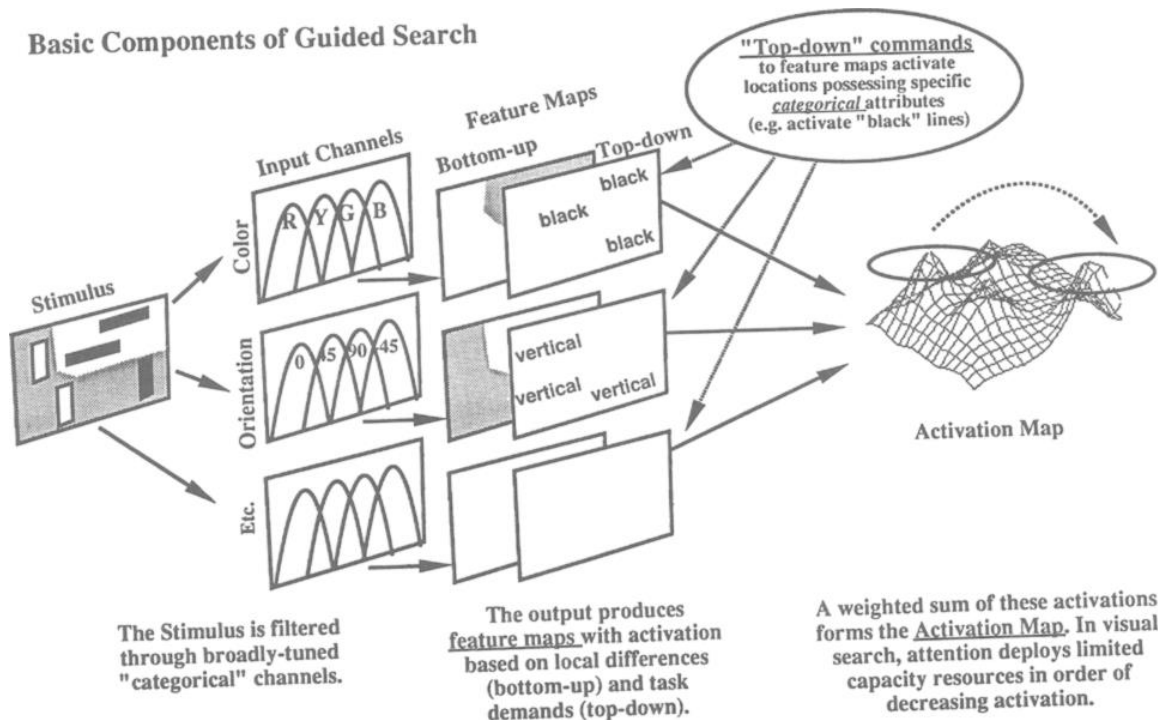


Figure 18 : Guided Search 2.0 (d'après Wolfe, 1994)

D'autres travaux se sont intéressés aux facteurs endogènes hors des propriétés de la cible en termes de traits basiques. Seidl-Rathkopf et al. (2015) montrent que l'attention est guidée sur des items reliés à la même catégorie que la cible. Dans leur expérience, des distracteurs voitures perturbent plus la recherche visuelle d'une cible voiture que des distracteurs personnes. Les connaissances de l'individu sur la cible concernent également sa position dans la scène visuelle. Neider et Zelinsky (2006) demandent à leurs participants de trouver 3 véhicules cibles (voiture, dirigeable, hélicoptère) sur une image de désert avec un sol, des montagnes et du ciel. Deux conditions de contexte sont testées : la localisation de la cible est pertinente avec la nature

de la cible (la voiture au sol, le dirigeable dans le ciel et l'hélicoptère au sol ou dans le ciel) ou elle ne l'est pas (la voiture peut se trouver dans le ciel par exemple). Neider et Zelinsky observent, dans la condition contexte pertinent, que les premières saccades oculaires se portent sur les zones pertinentes et que les participants passent plus de temps sur ces régions. De plus, les cibles pertinentes sont détectées plus rapidement et avec moins de mouvements oculaires. Les 2 chercheurs voient dans ces résultats la manifestation d'un guidage descendant rapide, dès la visualisation de la scène. Parmi les connaissances que l'individu possède sur sa cible, la probabilité de trouver cette cible dans une scène visuelle est une donnée importante. Nocum et collaborateurs (2013) demandent à 16 étudiants en radiographie de détecter des nodules sur 30 images de poumons (15 d'entre elles contenant entre 1 et 3 nodules) lors de 2 sessions différentes. Les chercheurs manipulent la prévalence en informant les participants du nombre de nodules que contiennent les images, pour chacune des 2 sessions. Les participants sont répartis dans 4 groupes en fonction de la prévalence de la cible. Dans le groupe 1, lors de la 1^{ère} session, les participants sont informés que les images contiennent 9 nodules. Lors de la 2^{ème} session, ces mêmes participants reçoivent l'information que les images contiennent 15 nodules. La procédure est appliquée au groupe 2 (prévalence communiquée de 15 nodules en 1^{ère} session, 22 en 2^{ème} session), au groupe 3 (9 nodules en 1^{ère} session, 22 nodules en 2^{ème} session) et au groupe 4 (15 nodules en 1^{ère} et 2^{ème} sessions). Le temps de réaction, le score de certitude donné par le participant et les mouvements oculaires sont recueillis. Les résultats montrent un temps de fixation sur le nodule plus élevé, dans la condition de prévalence haute, pour le groupe 1. Les auteurs concluent que la prévalence peut influencer la recherche visuelle.

Pour réaliser le relevé, le conseiller doit identifier les cibles Eudémis et ignorer les insectes distracteurs sur les plaques de glu. Cette identification est influencée par des facteurs exogènes et endogènes. Lors de l'analyse de son activité (cf. III.2), lorsqu'il compte le nombre d'Eudémis sur la plaque de glu, le conseiller exprime rechercher une cible répondant aux critères suivants : item en forme de papillon, avec des antennes, de couleur marbrée et d'une taille approximative de 1.5 cm. De plus, le risque de trouver des cibles sur la plaque de glu fluctue selon les informations contextuelles. Quatre paramètres sont importants : (i) la date du relevé (les Eudémis étant plus nombreux dans l'environnement en fonction du cycle biologique du papillon (cf. I.2.3), (ii) l'historique de la parcelle (Eudémis restant présent dans la parcelle en hiver, sous forme de chrysalide, une forte pression sur la parcelle à l'année n engendre un risque plus élevé de trouver des Eudémis à l'année n+1), (iii) la localisation du piège dans la

parcelle (d'expérience, le conseiller remonte que la capture du papillon est plus forte pour des pièges situés en bordure de parcelle plutôt qu'au centre) et (iv) la vigueur de la vigne (Eudémis ayant une appétence plus développée pour les vignes vigoureuses).

A notre connaissance, aucune étude n'a visé à étudier l'identification des Eudémis sur plaque de glu. La population de conseillers agricoles spécialistes de l'identification d'Eudémis est peu nombreuse et difficilement accessible. Cette limite est peu compatible avec l'approche statistique de la démarche expérimentale. Cependant, une expérience mobilisant des participants novices peut tout de même contribuer à la compréhension de processus de recherche visuelle. Abernethy & Russell (1987) comparent les stratégies visuelles entre des experts du badminton (joueurs participants aux Jeux du Commonwealth) et des novices (étudiants en éducation physique). Après avoir visionné, en caméra première personne, des vidéos montrant des tirs de l'adversaire, les participants doivent deviner le point de chute du volant. Les chercheurs recueillent les déplacements oculaires par eye-tracking, obtenant des données spatiales et temporelles sur les patterns de recherche visuelle. Ils constatent que la localisation de la recherche visuelle, les durées de fixation et les séquences de fixation ne diffèrent pas significativement entre experts et novices. Ils concluent que c'est plus l'utilisation de l'information visuelle qui fait la différence entre ces 2 groupes.

Nos hypothèses portent sur l'effet des facteurs exogènes et endogènes sur la recherche visuelle d'Eudémis. En lien avec les hypothèses de Nocum et collaborateurs (2013), nous attendons un effet des informations contextuelles sur l'identification d'Eudémis, avec un nombre plus élevé de faux positifs dans la condition risque fort que dans la condition risque faible, un nombre plus élevé de faux négatifs dans la condition risque faible que dans la condition risque fort, ainsi qu'un temps d'identification de la cible plus important dans la condition risque fort que dans la condition risque faible. De plus, en accord avec l'étude de Alexander & Zelinsky (2012), nous attendons un effet négatif de la similarité cible-distracteurs, matérialisé par une augmentation (i) du nombre de faux positifs, (ii) du temps d'identification plus et (iii) du temps de rejet, quand cette similarité augmente. Enfin, à partir des travaux portant sur la Feature Integration Theory (Treisman & Gelade, 1980) et le Guided Search Model (Wolfe, 1989 ; 1994 ; 2007), nous pensons observer que les traits couleur, taille et forme, de la cible seront identifiés automatiquement lors de la recherche visuelle d'Eudémis, au contraire du traits antennes. Ainsi, quand la cible est un singleton couleur ou taille (la cible diffère des

distracteurs uniquement par sa couleur ou sa taille), le temps pour l'identifier ne devrait pas varier significativement en fonction du nombre de distracteurs présents à l'écran. A l'inverse, quand la cible est un singleton antennes, nous attendons une augmentation significative du temps nécessaire à son identification quand le nombre de distracteurs augmente.

3.2. Matériel et méthode

2.1. Participants

50 étudiants (35 femmes) de l'université Toulouse Jean Jaurès ($M=23.38$ ans, $SD = 5.88$ ans, $\min = 18$, $\max = 43$) ont participé volontairement à cette étude. 34 d'entre eux ont bénéficié d'une gratification sous la forme d'un demi-point sur leur moyenne à l'Unité d'Enseignement de méthodologie expérimentale en Licence 2. Tous les participants avaient une vue correcte ou correctement corrigée. Aucun ne présentait de trouble de l'attention auto-déclaré. Au moment de leur recrutement, aucun participant n'était familier de la tâche d'identification d'Eudémis. Enfin, aucun participant ne connaissait le but de l'expérience. Les participants ont été répartis aléatoirement et de manière homogène dans les deux conditions de contexte à risque d'Eudémis.

2.2. Matériel

Ordinateur

Les imagettes sont présentées sur un écran d'ordinateur (HP ProBook 650 G2), d'une taille de 15.6 pouces et de résolution de 1366 x 768, via le logiciel Superlab (version 5.0.5, 17 décembre 2015). Pour chaque essai, le logiciel recueille les temps de réponse du sujet. Le taux d'erreur est obtenu à partir du codage des réponses, pour chaque essai, dans Superlab.

La cible

La cible Eudémis (figure 19) est définie par 4 traits visuels : présence d'antennes, couleur marbrée, forme de papillon, taille d'environ 1.5 cm. La taille d'Eudémis sur les imagettes est ainsi de $1.5^\circ \times 1^\circ$ d'angle visuel. Cette taille est comparable à celle des cibles d'autres travaux sur la recherche visuelle : $2^\circ \times 2^\circ$ (Chen & Zelinsky, 2006 ; Duncan & Humphreys, 1989) ; 1.9° (Fernandez, 2010) ; $1.2^\circ \times 1.2^\circ$ (Hartzell, 2017) ; $1.5^\circ \times 1.5^\circ$ (Hwang et al., 2009) ; $1^\circ \times 1^\circ$ (Lindsey et al., 2010) ; 1.3° (Neider & Zelinsky, 2006) ; $0.8 \times 0.6^\circ$ (Treisman & Gelade, 1980). La couleur de la cible se compose de 3 parties de couleurs marron (code RVB : 166, 119, 65 ; teinte : 21 ; saturation : 105 ; luminance : 109), grise (code RVB : 113,

98, 79 ; teinte : 22 ; saturation : 43 ; luminance : 90) et noire (code RVB : 53, 17, 0 ; teinte : 13 ; saturation : 240 ; luminance : 25).



Figure 19 : Cible Eudémis recherchée

Les distracteurs

Le nombre de distracteurs était une variable contrôlée à 2 modalités : 5 ou 30 distracteurs. Huit insectes existants, issus de photos réelles téléchargées, ont été utilisés (cf. figure 20) : mouches, abeilles, frelons, taons, papillon écaille chinée, papillon cochylis, papillon Eulia.



Figure 20 : Distracteurs utilisés : mouches, frelon, abeille, taon, papillon écaille chinée, papillon Cochylis, papillon Eulia

Ces distracteurs ont été retenus car leur présence sur le matériel visuel d'origine (plaque de glu) est possible. Leurs caractéristiques sur les 4 traits visuels, par rapport à la cible, sont présentées dans le tableau 7 (D = le distracteur est Différent de la cible sur ce trait visuel ; I = le distracteur est Identique à la cible sur ce trait visuel). Pour ces 8 insectes, les traits couleur et forme sont ceux que l'item possède naturellement. Les traits antennes et taille sont modifiés avec le logiciel PowerPoint 2016.

	Antennes	Couleur	Forme	Taille
Mouches	D & C (antennes ajoutées)	D	D	D (2.9°x2.9°) & C (1.5°x1.5°)
Frelon	D (antennes supprimées) & C	D	D	D (6.7°x9.6°)
Abeille	D & C (antennes ajoutées)	I	D	D (2.9°x2.16°) & C (1.5°x1.5°)
Taon	D & C (antennes ajoutées)	D	D	D (4.8°x6.1°) & C (1.5°x1.5°)
Papillon écaillé chinée	D & C (antennes ajoutées)	D	I	D (4.8°x3.4°) & C (1.5°x1.5°)
Papillon cochylys	D & C (antennes ajoutées)	D	I	D (2.4°x4.2°) & C (1.5°x1.5°)
Papillon Eulia	D & C (antennes ajoutées)	D	I	D (2.4°x1.6°) & C (1.5°x1.5°)

Tableau 7 : Traits visuels des 8 insectes distracteurs

Quand la cible est un singleton (elle possède un seul trait unique par rapport aux distracteurs, les 3 autres traits étant partagés entre cible et distracteurs), la figure 21 présente les distracteurs utilisés. Quand la cible est un singleton couleur, 4 distracteurs sont utilisés : rouge (code RVB : 195, 10, 16 ; teinte : 239 ; saturation : 217 ; luminance : 96), noir (code RVB : 0, 0, 2 ; teinte : 160 ; saturation : 240 ; luminance : 1), vert (code RVB : 6, 181, 104 ; teinte : 102 ; saturation : 225 ; luminance : 88) et gris (code RVB : 130, 130, 130 ; teinte : 160 ; saturation : 0 ; luminance : 122). Quand la cible est un singleton taille, les distracteurs sont plus grands (4.6°x2.9°) et plus petits (0.8°x0.5°). Pour chaque essai, les distracteurs sont sélectionnés aléatoirement parmi les distracteurs possibles (figures 20 et 21).



Figure 21 : Distracteurs utilisés quand la cible est respectivement un singleton antennes, couleur ou forme

Disposition générale des imagettes

232 imagettes (cf. figure 22) de taille $32.9^{\circ} \times 18.6^{\circ}$ ont été conçues sur PowerPoint 2016 et présentées aux participants avec le logiciel Superlab. Chaque diapositive a été divisée en 49 cases de taille égale (effacées en fin de conception et donc invisibles pour les participants). Des moucherons de taille $0.3^{\circ} \times 0.2^{\circ}$ d'angle visuel ont été ajoutés pour simuler au mieux le matériel visuel réel (plaque de glu). L'orientation de chaque item est randomisée. La localisation des items (cible, distracteurs, moucherons) sur l'écran a été randomisée, tout en répondant aux 3 critères suivants : (i) chaque case contient entre 1 et 4 moucherons de taille identique (ii) au moins 1 case voisine à celle de la cible contient un distracteur dans la condition 5 distracteurs (au moins 3 cases voisines dans la condition 30 distracteurs) afin de limiter la saillance de la cible liée à son isolement (iii) la cible n'est jamais localisée dans la case centrale de l'écran. Sur les 232 essais, 112 ne comportaient pas d'Eudémis, 60 en comportaient 1 et 60 en comportaient plusieurs (30 essais entre 2 et 7 cibles, 30 essais entre 8 et 18 cibles). 66 essais contenaient des distracteurs ayant seulement un trait commun avec la cible, 96 essais contenaient des distracteurs ayant 2 traits communs avec la cible et 70 essais contenaient des distracteurs ayant 3 traits communs avec la cible.



Figure 22 : Exemple d'essai (condition antennes/forme/taille : identiques, couleur : différent, 5 distracteurs)

Manipulation des informations contextuelles

L'influence des informations contextuelles (facteurs endogènes) sur l'identification de la cible Eudémis, testée en inter-groupe, présente deux modalités : risque faible de trouver des Eudémis – risque fort de trouver des Eudémis. Cette variable est manipulée à travers 4 catégories d'informations. En conclusion, un message explicite est présenté au participant (cf. tableau 8).

Catégorie d'information	Message affiché pour le participant	
	<i>Modalité risque faible</i>	<i>Modalité risque fort</i>
Historique de la parcelle	La parcelle inspectée a très peu été touchée par Eudémis les 2 dernières années. Peu d'Eudémis ont donc hiberné dans cette vigne.	La parcelle inspectée a été fortement touchée par Eudémis les 2 dernières années. De nombreux Eudémis ont donc hiberné dans cette vigne.
Moment de l'année où se réalise l'identification	Nous sommes fin avril. Peu d'Eudémis sont sortis de leur hibernation.	Nous sommes fin juin. Les vols d'Eudémis sont importants à cette période.
Localisation du piège dans la parcelle	Pour des raisons pratiques, le piège est situé au milieu de la parcelle, zone qu'Eudémis fréquente peu.	Le piège est situé en bordure de parcelle, zone qu'Eudémis aime fréquenter.
Vigueur de la vigne	Enfin, le viticulteur a opté pour une vigne peu vigoureuse, ce qui n'attire pas franchement Eudémis.	Enfin, le viticulteur a opté pour une vigne vigoureuse, ce qui attire Eudémis.
	La situation semble donc peu favorable à la présence d'Eudémis.	La situation semble donc favorable à la présence d'Eudémis.

Tableau 8 : Informations contextuelles données au participant

2.3. Procédure

L'influence des traits visuels des distracteurs (facteurs exogènes) sur l'identification de la cible Eudémis, testée en intra-sujet, est manipulée à travers 4 variables indépendantes à 2 modalités (commun/différent de la cible) : (i) antennes (ii) couleur (iii) forme et (iv) taille. Les 232 essais de recherche visuelle ont été aléatoirement présentés dans 3 blocs randomisés (2 blocs de 77 essais, 1 bloc de 78 essais), espacés de 2 pauses dont la durée était sous contrôle du participant dans la limite d'une minute maximum (figure 23). Pour attirer l'attention du participant au centre de l'écran de recherche, avant la présentation de chaque imagerie, une

croix de fixation (Arial 72 pt) était affichée pendant 250 ms. Un point d'exclamation (Arial 72 pt) la remplaçait et était affiché pendant 100 ms. Une imagerie était alors présentée. Les participants appuyaient sur la touche M lorsqu'ils identifiaient un Eudémis et sur S s'ils estimaient que l'imagerie ne contenait pas de cible. L'imagerie restait affichée à l'écran tant que le participant n'avait donné de réponse. La passation de l'expérience était individuelle. Elle durait une vingtaine de minutes au total. Après l'accueil dans les locaux de la Maison de la Recherche à Toulouse Jean Jaurès, le participant s'asseyait face à l'ordinateur, à une distance d'environ 60 cm, et lançait l'expérience sur Superlab. L'écran d'accueil l'informait sur la durée approximative de l'expérience (15 à 20 minutes). Un deuxième écran précisait l'absence de risque pour la santé et le traitement anonyme des résultats avant que le participant ne donne son consentement. Le participant recevait une formation courte sur Eudémis sous la forme de 4 écrans informatifs. Le premier écran informatif comprenait le texte suivant : « Eudémis est un papillon ravageur de la vigne. L'hiver, les Eudémis hibernent, sous forme de chrysalide, dans le bois de la vigne. Au printemps, la femelle pond ses œufs dans les vignes. La chenille qui éclot de l'œuf se nourrit des baies de raisin ». Le second écran informatif présentait le fonctionnement d'un piège avec 2 photos illustratives (un piège dans une parcelle et une plaque de glu). Le troisième écran informatif synthétisait les 4 traits visuels qui doivent être réunis pour identifier un item en tant qu'Eudémis : insecte en forme de papillon, d'une taille approximative de 1.5 cm, de couleur marron marbrée et possédant des antennes. Le quatrième écran montrait la cible recherchée (cf. figure 19). Les informations contextuelles étaient ensuite résumées sur un écran. Sur l'écran suivant, étaient affichés la consigne (répondre aussi rapidement et précisément que possible à la question : le piège contient-il au moins 1 Eudémis ?), les 2 touches réponse (S pour répondre non, M pour répondre oui) et une information qu'un entraînement de 9 écrans suivait. L'entraînement, permettant de s'assurer de la bonne compréhension de la consigne par chaque participant, était constitué de 9 essais randomisés parmi les 232. Un feedback était donné au participant après sa réponse. Cet entraînement se concluait par un écran d'information « Vous voilà prêt pour repérer les Eudémis pour de bon », lançant le début de la session expérimentale avec recueil de données. Pour chaque essai, Superlab recueille les temps de réponse du sujet. Le taux d'erreur est obtenu à partir du codage des réponses dans Superlab. En fin de passation, un débriefing concluait la session. Il permettait aux participants de comprendre la finalité de cette étude. Ils étaient finalement remerciés pour le temps qu'ils nous avaient accordé.

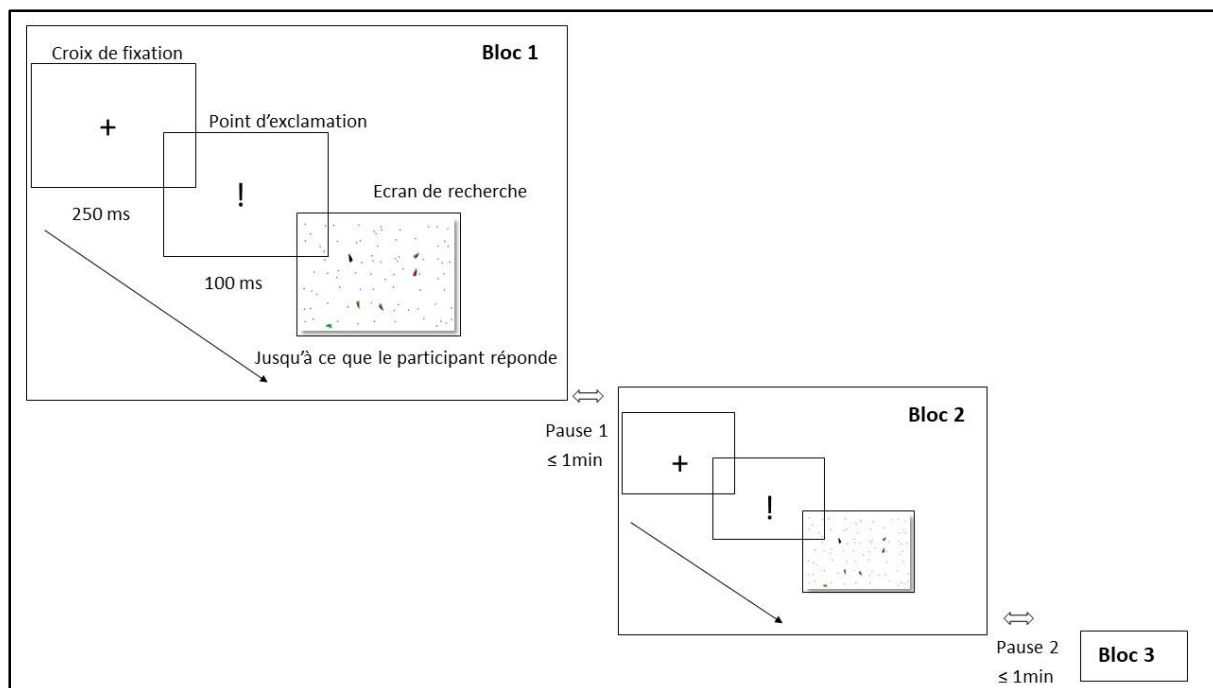


Figure 23 : Procédure de l'expérience de recherche visuelle

3.3. Résultats

Les temps de réponse inférieurs à 200ms ($n = 1$) ont été exclu du traitement de données. Deux ensembles d'analyses ont été conduits avec le logiciel libre-accès Jamovi (version 0.9.5.12), avec $\alpha = .05$. Le premier ensemble d'analyses porte sur l'étude de l'effet conjoint des informations contextuelles et de la similarité cible-distracteurs sur la performance d'identification d'Eudémis. Le second ensemble d'analyses concerne la nature des traits visuels de la cible détectés au stade pré-attentif lors de la recherche visuelle d'Eudémis.

Tous participants confondus, sur les 232 essais, le temps de réponse moyen est de 2045 ms pour taux moyen de bonne réponse de 95.17%, avec un taux moyen de faux positifs de 3.67% et un taux moyen de faux négatifs de 1.16%. Pour les essais où la cible est présente, le temps moyen d'identification de la cible (réponse « oui ») est de 1516 ms tandis que le pourcentage moyen d'identification de la cible est de 98.8%.

3.1. Influence des informations contextuelles et de la similarité cible-distracteurs sur le processus de recherche visuelle

Pour étudier l'effet conjoint des informations contextuelles et de la similarité cible-distracteurs sur la recherche visuelle d'Eudémis, un même plan d'ANOVA à mesures répétées

a été appliqué à 4 indicateurs de performance : le nombre de faux positifs (cible absente + réponse « oui »), le nombre de faux négatifs (cible présente + réponse « non »), le temps d'identification de la cible (cible présente + réponse « oui ») et le temps de rejet (cible absente + réponse « non »). Cette ANOVA mixte a pris, comme variable indépendante inter-groupe, les Informations Contextuelles (risque fort de trouver des Eudémis, risque faible de trouver des Eudémis) et comme variable intra-sujet la Similarité cible-distracteurs (1, 2 ou 3 traits partagés entre la cible et les distracteurs).

3.1.1. Sur le nombre de faux positifs

L'analyse montre un effet de la similarité cible-distracteurs sur le nombre de faux positifs, $F(2, 48) = 127.67$, $MSE = 812.42$, $p < .001$, $\eta^2 = 0.57$. Les tests post-hoc *t* de Bonferroni révèlent que le nombre de faux positifs est significativement plus élevé dans la condition 3 traits communs (7.46 ± 4.46) que dans les conditions 1 trait commun (0.04 ± 0.14), $t = 14.71$, $p < .001$, et 2 traits communs (1.02 ± 2.22), $t = 12.77$, $p < .001$. L'analyse n'indique aucun effet simple des informations contextuelles ($F < 1$), ni d'interaction entre les deux variables ($F < 1$).

3.1.2. Sur le nombre de faux négatifs

L'analyse ne montre aucun effet des informations contextuelles, ni simple ni en interaction avec la similarité cible-distracteurs (*ns*).

3.1.3. Sur le temps d'identification de la cible

L'analyse montre un effet de la similarité cible-distracteurs sur le temps d'identification de la cible, $F(2, 48) = 13.93$, $MSE = 542\,928$, $p < .001$, $\eta^2 = 0.03$. L'analyse post-hoc de Bonferroni révèle une augmentation significative des temps d'identification de la cible entre les conditions 1 trait commun (1411 ± 504) et 2 traits communs (1516 ± 522), $t = -2.65$, $p < .05$, et entre les conditions 2 traits communs et 3 traits communs (1620 ± 551), $t = -2.63$, $p < .05$. En revanche, aucun effet significatif des informations contextuelles sur le temps d'identification de la cible ($F < 1$), ni d'effet d'interaction entre les deux variables ($F < 1$), n'est observé.

3.1.4. Sur le temps de rejet

L'analyse indique un effet de la similarité cible-distracteurs sur le temps de rejet, $F(2, 48) = 72.26$, $MSE = 6.53 \times 10^6$, $p < .001$, $\eta^2 = 0.07$. L'analyse post-hoc de Bonferroni montre une

augmentation significative des temps de rejet entre les conditions 1 trait commun (2358 ± 1020) et 2 traits communs (2618 ± 1096), $t = -4.33$, $p < .001$, et entre les conditions 2 traits communs et 3 traits communs (3073 ± 1238) $t = -7.55$, $p < .001$. L'analyse n'indique aucun effet simple des informations contextuelles ($F < 1$) ni d'interaction entre les deux variables ($F < 1$).

Ce premier ensemble d'analyses montre que l'augmentation du nombre de traits communs entre cible et distracteurs dégrade la performance de la recherche visuelle d'Eudémis. Par ailleurs, la manipulation des informations contextuelles n'a eu aucun effet simple, ni en interaction, sur ces mêmes indicateurs. Ces éléments seront discutés ultérieurement.

3.2. Traits guidant la recherche visuelle d'Eudémis

Pour définir la nature des traits visuels de la cible détectés au stade pré-attentif, une ANOVA mixte a été appliquée au temps d'identification de la cible (cible présente + réponse « oui »), avec comme variable indépendante inter-groupe les Informations Contextuelles (risque fort de trouver des Eudémis, risque faible de trouver des Eudémis) et comme variable inter-sujet le Trait Unique possédé par la cible singleton (5 distracteurs et 30 distracteurs), respectivement les antennes, la couleur, la forme ou la taille.

3.2.1. Le trait visuel antennes

L'analyse montre une augmentation significative du temps d'identification de la cible singleton antennes entre les conditions 5 distracteurs (1124 ± 465) et 30 distracteurs (1843 ± 1069), $F(1, 48) = 42.72$, $MSE = 2.03e7$, $p < .001$, $\eta^2 = 0.236$. Aucun effet simple des Informations Contextuelles ($F < 1$) ni d'interaction entre les deux variables ($F < 1$), n'est observé.

3.2.2. Le trait visuel couleur

L'analyse montre une augmentation significative du temps d'identification de la cible singleton couleur entre les conditions 5 distracteurs (1015 ± 644) et 30 distracteurs (1369 ± 502), $F(1, 48) = 11.12$, $MSE = 999\ 000$, $p < .01$, $\eta^2 = 0.03$. L'analyse n'indique aucun effet simple des Informations Contextuelles ($F < 1$), ni d'interaction entre les deux variables ($F < 1$).

3.2.3. Le trait visuel forme

L'analyse met en évidence une augmentation significative du temps d'identification de la cible singleton forme entre les conditions 5 distracteurs (1268 ± 459) et 30 distracteurs (1967 ± 899), $F(1, 48) = 66.69$, $MSE = 1.22e7$, $p < .001$, $\eta^2 = 0.2$. L'analyse ne montre pas d'effet simple des Informations Contextuelles ($F < 1$), ni d'interaction entre ces 2 variables ($F < 1$).

3.2.4. Le trait visuel taille

L'analyse révèle une augmentation significative du temps d'identification de la cible singleton couleur quand le nombre de distracteurs augmente (respectivement 1172 ± 586 et 1313 ± 538 pour 5 et 30 distracteurs), $F(1, 48) = 5.58$, $MSE = 497\,730$, $p < .01$, $\eta^2 = 0.02$.

Ce second ensemble d'analyses montre que l'identification de la cible Eudémis, qu'elle soit un singleton antennes, couleur, forme ou taille, est ralentie quand le nombre de distracteurs augmente. Enfin, les informations contextuelles n'ont aucun effet, ni simple, ni d'interaction. Ces éléments sont discutés dans la partie suivante.

3.4. Discussion et conclusion

La discussion des résultats de cette étude porte, dans un premier temps, sur le processus de recherche visuelle d'Eudémis. Dans un second temps, les implications de cette étude dans le projet VitiOptimum seront discutés.

3.4.1. Compréhension du processus de recherche visuelle

L'objectif général de cette étude était de comprendre le processus de recherche visuelle d'Eudémis. Plus spécifiquement, il s'agissait (i) de tester l'effet des informations contextuelles, (ii) d'étudier l'influence de la similarité cible-distracteurs, et (iii) de déterminer quels traits sont guidant dans cette recherche visuelle.

Les résultats s'orientent sur 3 grands axes. Premièrement, l'étude montre un impact négatif de la similarité cible-distracteurs sur la performance de recherche visuelle d'Eudémis. Les participants prennent plus de distracteurs pour des Eudémis quand les distracteurs ont 3 traits communs avec la cible que lorsqu'ils n'ont qu'un ou 2 traits communs avec la cible. Quand cible et distracteurs ne partagent qu'un seul trait commun, le nombre de faux positifs est

quasi nul. Par ailleurs, la similarité cible-distracteurs ralentit l'identification de la cible. Quand le nombre de traits communs entre la cible et les distracteurs augmente, l'identification d'Eudémis requiert un temps plus élevé. Enfin, la similarité cible-distracteurs a un effet sur le temps de rejet. Plus cette similarité augmente, plus les participants sont lents pour répondre que la scène visuelle ne compte aucune cible.

Deuxièmement, l'étude montre une augmentation du temps d'identification de la cible, qu'elle soit un singleton antennes, couleur, forme ou taille, lorsque le nombre de distracteurs augmente. Le contrôle attentionnel a donc été nécessaire pour identifier ces 4 traits visuels.

Troisièmement, les résultats indiquent que les informations contextuelles, données aux participants en préambule de l'expérience, n'ont eu aucun effet, que ce soit sur le nombre de faux positifs, de faux négatifs, sur le temps d'identification de la cible ou sur le temps de rejet.

Les résultats concernant la similarité cible-distracteurs confirment nos hypothèses et sont en accord avec l'étude de Alexander et Zelinsky (2012). Dans leur expérience, les participants doivent repérer la présence d'un ours en peluche parmi 8 ours partageant 0, 1, 2 ou 3 parties (tête, paire de bras, paire de jambes, tronc) avec la cible. L'enregistrement des mouvements oculaires montre 4 augmentations significatives en fonction de la similarité cible-distracteurs : le temps pour que le regard se porte sur la cible, le nombre de distracteurs fixés sur une période de temps donnée, le temps de vérification de la cible une fois que le regard s'est fixé dessus et le temps pour rejeter les distracteurs. Alexander et Zelinsky (2012) concluent que la similarité cible-distracteurs affecte non seulement le guidage de la recherche visuelle (items de la scène visuelle fixés en premier) mais également la vérification de l'item visuel une fois qu'il est fixé. Dans notre expérience, les distracteurs similaires à Eudémis ont, d'une part, attiré l'attention, et d'autre part, ralenti la vérification de l'insecte fixé (qu'il soit la cible Eudémis ou un insecte distracteur).

Les résultats sur les traits identifiés automatiquement lors de la recherche visuelle d'Eudémis sont à discuter au regard de nos hypothèses. Selon la Feature Integration Theory (Treisman & Gelade, 1980) et le Guided Search Model (Wolfe, 1989 ; 1994 ; 2007), nous attendions que le trait visuel antennes implique un traitement contrôlé attentionnellement, marqué par une recherche sérielle. A l'inverse, nous attendions que traits perceptifs couleur, taille et forme soient traités pré-attentionnellement, entraînant un effet de pop-out.

Nos résultats confirment que le temps d'identification de la cible singleton antennes est sensible à l'augmentation du nombre de distracteurs. La recherche en série, mobilisant l'attention, est donc requise pour identifier la cible quand elle est un singleton antennes.

En revanche, contrairement à nos attentes, les traits couleur, forme et taille ont, comme le trait antennes, impliqué un traitement contrôlé attentionnellement, marqué par une augmentation du temps d'identification de la cible singleton quand le nombre de distracteurs augmente.

Concernant la couleur, ces résultats peuvent avoir 2 explications. La première explication serait liée à la faible similarité distracteurs-distracteurs en termes de couleur, dans notre étude. Dans l'étude initiale de Treisman et Gelade (1980), les distracteurs sont tous marron ou vert. Quand la cible est un singleton couleur (la seule lettre bleue de l'écran), les auteurs observent un effet « pop-out » car la cible est saillante parmi ces distracteurs. Dans le contexte de la recherche visuelle d'Eudémis, les distracteurs utilisés sont des insectes pouvant se retrouver sur les plaques de glu (ex : mouches rouges et bleues, frelon, papillons divers etc.). Ces distracteurs peuvent être très peu similaires, entre eux, en termes de couleur. Or, quand la similarité distracteurs-distracteurs diminue, la saillance ascendante diminue, rendant ainsi la recherche visuelle moins efficiente (Duncan & Humphreys, 1989 ; Wolfe, 1994).

La seconde explication reposerait sur la forte similarité cible-distracteurs, en termes de couleur, dans notre expérience. Les 3 papillons distracteurs (écaille chinée, *Cochylis*, *Eulia*, cf. figure 20) et les distracteurs noirs et gris (cf. figure 21) sont probablement trop proches de la cible d'un point de vue colorimétrique, alors qu'ils sont considérés comme appartenant à la modalité différente (cf. tableau 7). Or, la recherche visuelle est efficiente si les différences cible-distracteurs sont assez prononcées sur ce trait (Wolfe et al., 2003 ; Wolfe & Horowitz, 2017). Ainsi, même si la couleur est un aspect saillant (Hulleman, 2020), toutes les recherches de cibles colorées ne sont pas faciles, en particulier quand la cible est colinéaire aux distracteurs dans l'espace couleur (Lindsey et al., 2010). Pour ce cas, Wolfe (1994) propose 2 conséquences possibles sur la recherche visuelle. D'une part, les distracteurs pourraient activer le même canal sur la carte de traits couleur (cf. figure 18). D'autre part, les processus pré-attentifs ne seraient pas capables de repérer de faibles différences sur un trait basique comme la couleur (notion de Preattentive Just Noticeable Difference).

Concernant la taille, l'explication est plus simple. Les distracteurs n'étant pas homogènes dans la condition différent (certains étant plus grands que la cible, d'autres plus petits), Eudémis devient « l'item de taille moyenne », ce qui est difficile à repérer (Wolfe, 1994).

Enfin, les résultats portant sur le singleton forme peuvent s'expliquer par la définition de ce trait visuel, qui est controversée (Wolfe, 1994 ; Wolfe & Horowitz, 2017). Dans une expérience classique de recherche visuelle en laboratoire (ex : chercher la lettre S parmi des lettres T), les distracteurs peuvent facilement être classés en « forme identique » ou « forme différente » par rapport à la cible. Cette classification est plus difficile pour des objets du monde réel (ex : 2 papillons).

Dans notre étude, des traits considérés comme automatiquement identifiés par les travaux princeps sur la recherche visuelle (couleur, forme, taille) ont nécessité la mise en œuvre d'une recherche contrôlée attentionnellement. Ces résultats peuvent s'expliquer par une plus grande complexité des objets du monde réel, comme des insectes, comparés aux items classiquement utilisés dans les études de recherche visuelle tels que des lettres. Cette complexité se manifeste sur des traits comme la couleur (couleurs non unies, impact des teintes, de la saturation, de la luminance, des nuances etc.) ou la forme. Cette complexité liée au matériel visuel découle de la volonté d'étudier la recherche visuelle d'Eudémis de façon écologique.

Notre étude ne révèle aucun effet des informations contextuelles (sur le nombre de faux positifs, de faux négatifs et sur le temps d'identification de la cible). Une des explications possibles tient à la difficulté de repérer cet effet dans une expérience de recherche visuelle comme l'illustre l'expérience de Nocum et collaborateurs (2013). Ces chercheurs demandent à 16 étudiants en radiographie, répartis en 4 groupes, de détecter des nodules sur des images de poumons lors de 2 sessions. Les informations contextuelles (appelées ici prévalence) sont manipulées en informant les participants du nombre de nodules que contiennent les images (prévalence élevée, prévalence faible). Les chercheurs n'observent qu'une différence temporelle entre les 2 modalités de la prévalence : dans le groupe 1, le temps de fixation sur le nodule est significativement plus important en condition de prévalence élevée. Ainsi, dans les groupes 2, 3 et 4, la prévalence n'a pas influencé le temps de fixation sur le nodule. L'expérience n'indique pas d'effet de la prévalence sur le nombre moyen de fixation par image, sur le temps moyen pour une première fixation sur le nodule, sur le nombre de faux positifs ni sur le nombre de faux négatifs, contrairement aux hypothèses des chercheurs.

3.4.2. Implications pour le projet

D'un point de vue plus opérationnel, l'objectif de cette étude était de comprendre le processus de recherche visuelle d'Eudémis pour le comparer au système d'identification du piège. L'expérience montre que les participants sont performants dans cette tâche de recherche visuelle, avec un taux de bonne réponse de 95.17%. Quand les participants se sont trompés, dans 76% des cas, ils ont pris des distracteurs pour cibles (faux positifs), en particulier quand ceux-ci avaient 3 traits communs avec la cible. Quand Eudémis était présent, il a été identifié dans 98.8% des cas. Ces indices de performance sont à comparer avec ceux du piège connecté. En outre, l'étude indique que l'identification d'Eudémis est réalisée grâce à une recherche visuelle en série. Cette expérience a mis en évidence la mobilisation de ressources cognitives attentionnelles lors de la réalisation de la tâche. L'utilisation future du piège pourrait être contraignante d'un point de vue cognitif, avec un nombre d'images potentiellement élevé, en fonction des demandes d'envoi d'images par le conseiller et du nombre de pièges disposés sur le territoire suivi. Cet aspect doit être considéré dans l'organisation future du travail de conseiller pour favoriser l'acceptabilité du système.

Cette expérience a également été un outil pour étudier l'utilisation future du piège connecté. Initialement, le scénario alternatif à la donnée chiffrée, l'envoi d'images par le piège (cf. III.3.1), était peu abordé. Les questions de fiabilité accordée par le conseiller au piège connecté, déterminant important de l'acceptabilité des systèmes (Hoc, 2004), ainsi que les défis techniques de l'identification automatique, ont ramené ce scénario alternatif au centre de la conception. Constituant une forme de simulation de la tâche (cf. II.4.4), notre étude a permis d'appréhender l'utilisation future du piège. En testant l'effet de déterminants spécifiques de la situation future anticipée (Clot & Leplat, 2005 ; Burkhardt & Sperandio, 2004), des formes possibles de l'activité future et ses effets (sur la santé et sur la performance) ont été étudiés.

Cependant, notre étude présente 2 limites qui sont autant de perspectives. D'une part, le processus de recherche visuelle pourrait être analysé plus finement, en recueillant des indices de performance (temps et précision) ainsi que les mouvements oculaires, pour mieux saisir les stratégies visuelles lors de la recherche d'Eudémis. D'autre part, l'expérience pourrait être répliquée avec des conseillers agricoles, participants experts et futurs utilisateurs du système. En se basant sur des images envoyées par le piège, cette démarche se rapprocherait d'une

simulation de l'activité permettant une double contribution, à la fois sur les objets et sur les individus (Daniellou, 2007).

Cette 3^{ième} partie empirique s'est focalisée sur la compréhension du processus de recherche visuelle d'Eudémis par l'Homme, afin d'étudier l'utilisation future du piège connecté. Dans le 4^{ième} et dernier chapitre empirique, est présentée une démarche pour évaluer l'acceptabilité d'une technologie : des lunettes intelligentes de réalité augmentée.

4. Evaluer l'acceptabilité : test utilisateurs de lunettes intelligentes de réalité augmentée

Les acteurs du projet VitiOptimum envisageaient, en début de conception, de déployer l'application mobile pour le conseiller agricole (cf. I.1.2) sur des lunettes intelligentes de réalité augmentée. Se pose alors la question de l'acceptabilité de ce type de technologie portable (wearable) pour l'activité d'observations sur parcelles.

L'étude que nous avons menée fait l'objet d'un article actuellement soumis (Larbaigt, J., & Lemercier, C. (soumis). An evaluation of the acceptability of smart glasses for plot diagnosis activity in agriculture. *Ergonomics in Design*). Ce chapitre intègre d'abord une synthèse en Français de l'étude menée, puis une version papier de l'article soumis.

4.1. Synthèse de l'article soumis

Les Lunettes Intelligentes de Réalité Augmentée (LIRA) portent 3 principales fonctionnalités (Niemöller et al., 2016) : (i) l'apport d'information visuelle, comme une carte routière (Due, 2014), ou un tutoriel vidéo pour une opération de chirurgie (Brusie et al., 2015) ; (ii) la collecte de donnée (prise de notes, enregistrement de photos et de vidéos) et (iii) la communication avancée (conférence vidéo, partage de données etc.). Le principal avantage des LIRA est de réaliser les mêmes tâches informatiques complexes que le téléphone intelligent ou l'ordinateur portable mais d'une façon mains-libres. Comme les LIRA peuvent être contrôlées par des commandes vocales, en complément des boutons physiques, les mains de l'utilisateur restent libres. Un système mains-libres peut offrir un double avantage, à la fois en termes de performance et de confort. Différentes recherches ont testé l'utilisation des Lunettes Intelligentes de Réalité Augmentée. Kim et al. (2019) ont montré une réduction dans le temps d'exécution d'une tâche expérimentale de préparation de commandes en utilisant les LIRA pour localiser la pièce cible. Wang et al. (2019) ont noté une réduction des erreurs en utilisant des LIRA, comparé à des instructions papier, pour une tâche expérimentale de désassemblage de téléphone mobile. Alce et al. (2015) ont souligné l'avantage des LIRA pour libérer les mains de l'utilisateur de guides papier lourds et encombrants pendant la visite touristique d'une ville. Dans un contexte de musée, Vainstein et al. (2016) ont relevé que l'utilisateur de LIRA peut continuer à regarder un objet d'art tout en recevant des informations à son sujet. En viticulture, les LIRA pourraient être utilisées pour le diagnostic de parcelle. En utilisant la fonctionnalité de collecte de données (prise de notes, enregistrement de photos et de vidéos) en commandes

vocales, le conseiller pourrait rassembler des informations, directement au format numérique, tout en observant et en touchant la vigne. Deux facteurs semblent jouer un rôle majeur dans l'acceptabilité de cette technologie : le confort et l'expérience utilisateur (UX). Le confort renvoie aux perceptions, physiques et mentales, de l'utilisateur. L'UX est directement reliée à la qualité globale de l'interaction homme-système digital (Lallemant et al., 2015), d'un point de vue objectif et subjectif. Notre étude a pour objectif d'évaluer l'acceptabilité de lunettes intelligentes de réalité augmentée, pour le diagnostic de parcelle, ainsi que de comparer les 2 modes de contrôle (boutons physiques vs commandes vocales). Cette étude vise à apporter des connaissances sur les méthodes d'évaluation de l'acceptabilité des dispositifs de réalité augmentée en agriculture (Caria et al., 2019) en impliquant les utilisateurs finaux.

Sept participants du domaine agricole ayant une expérience dans le diagnostic de parcelle ont volontairement participé au test utilisateur. Le protocole comptait 3 tâches. Pour reproduire l'action d'observation de la vigne (marcher dans la parcelle, observer visuellement la plante et la toucher), un circuit pédestre, d'une longueur d'environ 240m, a été conçu. Le circuit amenait les participants à réaliser les éléments critiques de mobilité associés au diagnostic de parcelle (franchir le palissage, se pencher et bouger la tête). Pour répliquer l'utilisation des LIRA pour l'action de prise de notes, une tâche d'enregistrement de message vocal a été conçue. Les participants devaient d'abord trouver la fonctionnalité d'enregistrement vocal dans l'environnement numérique des LIRA puis enregistrer un court message vocal (cf. [Annexe 3A](#)). Pour évaluer l'UX, les participants avaient besoin d'utiliser les LIRA pour une durée plus importante. Dans ce but, une tâche de recherche d'image a été ajoutée. Les participants devaient d'abord trouver la galerie dans l'environnement numérique des LIRA puis brièvement décrire à l'expérimentateur une photo s'y trouvant. Chaque participant réalisait les tâches d'enregistrement du message vocal et de recherche d'image en commandes par boutons physiques et en commandes vocales. Les données collectées lors des tests utilisateurs étaient à la fois objectives (durées des tâches, durée total de port des LIRA) et subjectives. Le confort était évalué par un questionnaire portant sur 6 dimensions (cf. [Annexe 3B](#)) : la douleur, l'attachement/fixation des LIRA sur le visage, l'émotion liée à l'utilisation, l'anxiété, l'impact sur les mouvements et le changement perçu. L'UX était évalué par un questionnaire, issu de 5 questionnaires existants, portant sur 6 dimensions (cf. [Annexe 3C](#)) : la facilité d'utilisation, la facilité d'apprentissage, l'utilité, l'intégration dans les pratiques, la

satisfaction et la fiabilité. Un entretien semi-directif concluait le test qui durait environ 1h15 pour chaque participant.

Les résultats montrent que les LIRA sont évaluées négativement en termes de confort, en particulier les dimensions douleur, changement perçu et attachement/fixation. De plus, les résultats indiquent que les durées de réalisation des 2 tâches sont plus élevées en commandes vocales qu'en commandes physiques. Globalement, les participants ont attribué un score plus élevé d'expérience utilisateur pour les commandes physiques que pour les commandes vocales. Au cours des entretiens, les participants expriment des problèmes d'attachement/fixation des lunettes sur le visage ainsi que des sensations douloureuses (sur l'œil dominant, sur l'oreille et par la perturbation du champ visuel). L'analyse des commentaires des participants révèle qu'ils sont sensibles, en termes de confort et d'utilité, au côté main-libres des lunettes. Ils déclarent qu'ils pourraient alors utiliser leurs mains pour toucher la vigne ou se protéger en cas de chute, ainsi qu'éviter d'avoir leurs mains encombrées par des papiers ou de toucher leur équipement quand leurs mains sont sales. Plusieurs avantages potentiels des lunettes sont exprimés tels que l'économie de temps, la prise de notes sans papier et la possibilité de lire des documents pendant l'observation des parcelles. Les entretiens font également ressortir de nombreuses limites du contrôle vocal (ex : commandes non reconnues). Les résultats montrent que, bien que les participants considèrent les LIRA comme un outil ayant du potentiel pour le diagnostic de parcelle, leur acceptabilité reste limitée du fait de problèmes de confort et d'expérience utilisateur.

Cette étude fait écho aux résultats d'autres recherches portant sur des LIRA, tant sur l'aspect confort (ex : Brusie and al., 2015 ; Due, 2014 ; Motti & Caine, 2014 ; Syberfeldt et al., 2017) que sur l'aspect expérience utilisateur (ex : McNaney et al., 2014 ; Muensterer et al., 2014 ; Romare et al., 2018). La discussion porte également sur la comptabilité de cette technologie avec l'environnement professionnel des conseillers agricoles pour le diagnostic des parcelles (visibilité de l'écran en lumière solaire, résistance aux températures élevées et aux poussières, durée de vie de la batterie etc.). Pour conclure, cette étude propose 8 recommandations pour améliorer l'acceptabilité des LIRA en termes de confort, et 4 recommandations en termes d'expérience utilisateur.

4.2. Article soumis

Technologies could address a wide range of health, economic and environmental stakes in agriculture. Among these technologies, Augmented Reality Smart Glasses (ARSG) are booming (Caria et al., 2019). To achieve their potential, technologies has to be used and adopted by users. Our study assesses the acceptability of ARSG for the plot diagnosis (vine observation and note taking).

ARSG provide 3 main features (Niemöller et al., 2016): (1) virtual information provision like a road map (Due, 2014) or a tutorial video for surgery (Brusie et al., 2015); (2) data collection (notes and pictures taking, videos recording); (3) advanced communication (video conferencing, data sharing etc.). The main benefit of ARSG is that they perform the same complex computing tasks as a smartphone or a laptop in a hands-free way. As ARSG can be controlled by voice and gesture commands in addition to physical control buttons, the user's hands remain free.

4.2.1. What can ARSG bring?

A hands-free system can offer a twofold advantage both in terms of performance and comfort. Different research has tested the use of ARSG. Kim et al., (2019) showed a reduction in the execution time for an order picking task using ARSG to locate the target piece. Wang et al. (2019) noticed an error reduction with ARSG-based instructions (compared to paper based) for a mobile phone disassembly task. Alce et al. (2015) underlined the benefit of ARSG freeing the user's hands from heavy and cumbersome paper guides during a city tour. In a museum visit context, Vainstein et al. (2016) pointed out that the ARGS user can continue to look at the piece of art while receiving information about it. In viticulture, ARSG might be useful for the plot diagnosis. Using the data collection feature (note-taking, photo and video recording) in the voice control mode, the advisor could gather information, directly in the digital format, while observing the vine and touching it.

4.2.2. Two main factors for the acceptability of ARSG

Two main factors seem to play a major role in the acceptability of wearable technologies: the comfort and the user experience (UX). Comfort refers to the wearer's perceptions, physically and mentally speaking. The UX is directly linked to the global quality of the human-

system digital interaction (Lallemand et al., 2015), both from objective and subjective points of view.

Our study aims to address the lack of research on the acceptability of Augmented Reality devices in agriculture and more generally speaking for outdoor activities (Aaltonen & Laarni, 2017). Several critical elements of mobility associated with vine observation were identified: crossing a vineyard trellis to go from one row to another, bending over and moving one’s head. These elements raise questions about the acceptability of ARSG in terms of comfort, from a hardware point of view. Also, the note-taking action requires interaction with the ARSG software querying the device acceptability in terms of UX, from a software point of view. Moreover, as the main benefit of ARSG is that they are a hands-free device, voice control should be prioritized. That’s why we compared the two control modes (voice *vs* button).

4.2.3. How we conducted the tests

4.2.3.1. Participants

Seven participants (3 females) from the agricultural domain (5 advisors, 1 project manager, 1 trainee), aged 23-41, voluntarily participated. All of them were doing or had done plot diagnosis in the field. They all had normal or well-corrected vision. They had experience with smartphones and laptops, but none of them had ever used ARSG. Meteorological conditions varied as shown in table 9 :

Participant number	Temperature °C (°F)	Sunshine	Wind km/h (mph)
1	20°C (68°F)	+++	20 km/h (12.43 mph)
2	20°C (68°F)	+++	None
3	12°C (53.6°F)	+++	None
4	20°C (68°F)	+++	Low
5	13°C (55.4°F)	+	None
6	18°C (64.4°F)	++	Low
7	18°C (64.4°F)	++	Low

Tableau 9 : Weather conditions during the tests

4.2.3.2. The tested smart glasses

We tested an Android-based ARSG with a monocular display. The device features are described in table 10. All the participants used the glassless mount (figure 24).

CPU	OMAP4460 @1.2 GH
Volatile memory	1GB
Non-volatile storage	4GB internal flash
Battery	550mAh
Display	Full color display; resolution: 428 x 240 pixels
Camera	5MP photos, 1080p video
Sensors	3 DOF gesture engine, Ambient light, GPS, Proximity, head tracking, 3 axis gyro, 3 axis accelerometer, and 3 axis mag/integrated compass
Wireless links	WLAN and Bluetooth
Sound	Ear speaker; microphone
Control modes	Four control buttons, remote control app, voice and gesture recognition
Weight	150g (5.3 oz.)
Visual field	15°

Tableau 10 : The tested ARSG characteristics

We tested the ARSG as a stand-alone device (not paired to another Android device). Therefore, they only offer native features available from the virtual environment (figure 25). We evaluated the ARSG in two different control modes: button control and voice control.



Figure 214 : The tested ARSG on the glassless mount



Figure 225 : The ARSG virtual environment

4.2.3.3. The simulated crop circuit

To reproduce the vine observation action (walking through the vineyard, scrutinizing the vine and touching it), we designed a simulated crop circuit with an approximate total length of 80m (87.5 yd.) (figure 26). The circuit incorporated (1) two grounded cartons (length = 32cm (12.6 in.), width = 22cm (8.7 in), height = 20cm (7.8 in.)) with insects (some ten 2mm diameter points) drawn on three of their lateral sides, and (2) a vineyard trellis (simulated by a line between two chairs at a height of 90cm (35.4 in.)). The first task was to complete the circuit three times (240m (262.5 yd.) in total). For each loop, participants had to (i) count the insects drawn on one side of the grounded cartons and report the number to the experimenter, and (ii) cross the vineyard trellis. The circuit imposed the critical elements of mobility encountered in the activity of plot diagnosis. Each participant completed the circuit in about 10min.

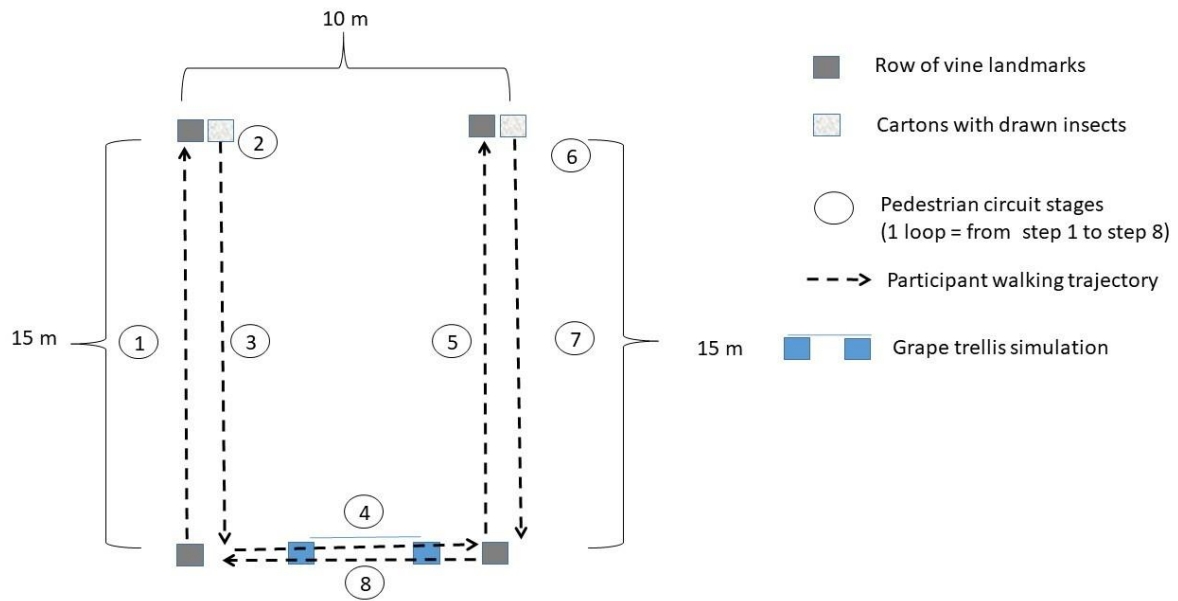


Figure 26 : The simulated crop circuit

4.2.3.4. The tasks

In order to replicate the use of ARSG for the note-taking action in plot diagnosis, we designed a message recording task. The participant had first to find and select the voice recorder functionality in the ARSG virtual environment and then to record a short voice message (see Appendix).

To assess the UX, the viticultural advisors needed to use the ARSG for a longer duration. Therefore, we added a picture searching task. The participant had first to find and select the gallery in the ARSG virtual environment and then to briefly describe it to the experimenter.

4.2.3.5. The data collection tools

To assess comfort, each participant completed a questionnaire ([Annexe 3A](#)) with one statement for each of the six comfort dimensions. Each comfort dimension was rated on a five-point Likert scale from -2 (strongly disagree) to +2 (strongly agree). We conducted the analysis both on each comfort dimension and on the global comfort score (from -12 to +12). The higher the score, the more comfortable the ARSG were reported to be.

To evaluate the objective UX, we collected the durations of both tasks (message recording and picture searching) for each control mode. We also recorded the time taken to adjust the ARSG and the total time spent wearing the ARSG.

To assess the subjective UX, we designed a 26-item questionnaire (Annexe 3B), on the base of 5 existing questionnaires: the QUIS (Chin et al., 1988), the Attrakdiff (Lallemand et al., 2015), the UEQ (Laugwitz et al., 2008), the USE (Lund, 2001) and the CAUTIC (Veyrat, 2008). We selected the items to fit with the ARSG evaluation and to avoid repetitive statements with a limited number of items. The participants assessed six pragmatic and hedonic dimensions of UX on a five-point Likert scale: ease of use, satisfaction, ease of learning, reliability, usefulness and integration into practices. To avoid order bias, we presented the 26 items in two different UX questionnaire versions, randomly presented to each participant. Each participant had to complete the UX questionnaire twice, once for each control mode (voice and button). We conducted the analysis both on each UX dimension and on the global UX score (from -12 to +12). The higher the score, the more satisfactory the ARSG were reported to be.

After the tests, we conducted an interview to collect (1) general information (2) the participants' feelings concerning the ARSG use (3) the participants' opinions about the integration of the ARSG into their practices. In total, each test lasted around 1 hour and 15 minutes.

4.2.4. What we found about the acceptability of ARSG

We carried out all the statistical analyses (descriptive and inductive) using the open source software Jamovi (version 0.9.5.12) with $\alpha=.05$.

4.2.4.1. A low level of comfort

The participants assessed the ARSG negatively in terms of comfort (median score = -1). Three dimensions of six were negatively evaluated with a median score of -1: harm, perceived change and attachment. Two dimensions were neither positive nor negative with a null median score: impact on movement and emotion. Only one dimension (anxiety) was positively assessed with a median score of 1.

4.2.4.2. A poorer evaluation for the objective UX in the voice mode...

The mean duration of ARSG adjustment was 24s (SD=30, min=5, max=90) whereas the mean duration wearing the ARSG was 18min (SD=3, min=15, max=25). The duration of the message recording task was significantly higher in the voice condition (mean=101s, SD=44) than in the button condition (mean=59s, SD=15), $t=-2.89$, $p=0.017$, $d=-1.18$. The picture searching duration was higher in the voice condition (mean=76s, SD=110) than in the button

condition (mean=33s, SD=39) but this difference was not significant ($p>.05$). For both tasks, the objective UX was lower in the voice condition than in the button condition.

4.2.4.3. As well as for the subjective UX

The global UX score was higher in the button control mode (mean=18.1, SD=13.8) than in the voice control mode (mean=10.9, SD=18.3), $t=1.93$, $p=0.051$. A further analysis on each of the six UX dimensions revealed that the button control mode was significantly rated as both easier to use (mean=5.71, SD=5.50) and more reliable (mean=2.29, SD=1.38) than the voice control mode (respectively 3.43 ± 5.65 and 1 ± 1.83).

Moreover, the button control mode was better evaluated than the voice control mode, in terms of satisfaction (mean_{button} = 1.43, SD_{button} = 3.60, mean_{voice} = -0.286, SD_{voice} = 4.07), ease of learning (mean_{button} = 3.57, SD_{button} = 1.81; mean_{voice} = 2.29, SD_{voice} = 1.89), reliability (mean_{button} = 2.29, SD_{button} = 1.38; mean_{voice} = 1, SD_{voice} = 1.83) and usefulness (mean_{button} = 4, SD_{button} = 2.45; mean_{voice} = 2.29, SD_{voice} = 4.42). However, these differences were not statistically significant (table 11). Finally, only the integration into practices dimension was more highly rated in the voice condition than in the button condition, but the difference was not statistically significant.

UX scores	Control mode
Global score	$p=0.051$
Ease of use	$p=0.017$
Satisfaction	$p=0.079$
Ease of learning	$p=0.075$
Reliability	$p=0.046$
Usefulness	$p=0.112$
Integration into practices	$p=0.193$

Tableau 11 : Summary of paired t-test results for the main effects of control mode on the six UX dimensions. Significant effects are highlighted in bold.

4.2.4.4. What the participants expressed during the interview

The participants reported three major issues concerning comfort: (1) 4 of the 7 participants expressed attachment problems. The different movements associated with plot diagnosis activity (walking, bending over, moving the head) made the device budge on the user's face.

The participants needed to readjust the ARSG during the tests. (2) 5 out of 7 participants underlined harm problems. More specifically, three problems were mentioned. Firstly, the ARSG were described as painful for the dominant eye. Secondly, the weight of the ARSG seemed to be problematic for the ear. A feeling of chafing was apprehended. Thirdly, the users reported their face feeling cluttered. (3) 2 of the 7 participants mentioned obstruction or disturbance of the visual field.

These three major comfort issues were an obstacle to wearing the ARSG for longer than the average 18 minutes taken to carry out the test. Only 2 of the 7 participants thought they would be able to use the device all day long, and one of them was cautious. Five participants did not think that they would be able to wear the ARSG all day long. The main reasons concerned the weight, the pain on the dominant eye and the ear, obstruction of the visual field and a general feeling of discomfort.

Beyond these comments on comfort, the participants expressed several both positive and negative opinions about the ARSG (table 11). Most of the participants reported the potential benefits of the ARSG being a hands-free device, both in terms of comfort and usefulness. Four different reasons were reported: using one's hands to touch the vine during vine observation, having one's hands free in case of a fall in the fields, avoiding having one's hands encumbered with paper notes and avoiding touching equipment the event of dirty hands (after touching a plant for example). Also, 5 of the 7 participants expressed potential benefits of the ARSG: to save time, to take notes without paper and to read documents on the fields. Finally, 5 of the 7 participants mentioned issues with the voice control: unrecognized commands (the participant spoke to the ARSG but the device did not recognize the command), undesired move (the ARSG moved but not in the way the participant expected), English accent issues, forgotten voice commands, need to repeat voice commands several times.

Comment	Number of participants supporting the comment
Benefits on comfort due to a hands-free device	7
Satisfaction about button control	6
Benefits on usefulness due to a hands-free device	6
Issues with the voice control	5
A tool with potential	5
Easy to use	3
Distracting (e.g.: impossible to do other simultaneous tasks, gaze occupied)	2
Not more useful than a phone app	2
Too small screen	2
Satisfaction about voice control	2
Issues with button control (e.g.: noise close to the ear, buttons too close to each other)	1
Not practical to use	1
Innovative	1

Tableau 12 : Comments made by the participants

4.2.5. Echo to others studies

The results show comfort issues, particularly as regards pain, perceived change and attachment. They emphasize that ARSG are not comfortable. Romare et al., (2018) also mentioned that painful wearing can be apprehended by users. These results are consistent with the study by Brusie and al. (2015) in which the smart glasses were poorly evaluated on the physical demand aspect in the NASA-TLX scale. Participants reported that they rubbed against the ear and that the device was heavy. This may be due to the weight of the ARSG (150g (5.3 oz.)) which is higher than the 100 g (3.53 oz.) limit (Syberfeldt et al., 2017). Furthermore, all the weight is on the same ear, creating an imbalance which strengthens the discomfort (Motti & Caine, 2014). In addition, participants reported a face cluttering problem. Moreover, the ARSG can be painful for the dominant eye. This result can be linked to the accommodation/convergence conflict (Due, 2014) created by two visual fields (the physical and the virtual world) and the visual field obstruction caused by the device. Participants

reported difficulties in seeing the screen and/or the real world clearly. Attachment issues with the ARSG were also reported during the interviews. In the course of movements entailed by vine observation (crossing a vineyard trellis, bending over and moving one's head), the ARSG slip on the face requiring a readjustment, which is not natural and intuitive with several components to adjust. The adjustment problems can be greater for users with visual disabilities (Syberfeldt et al., 2017) or for users wearing glasses (Romare et al., 2018) such as eyeglasses or sunglasses. Comfort issues make the wearing ARSG all day long impossible for crop observation in the fields, according to the participants. Beyond comfort issues, research has to be conducted to know the long term effects of smart glasses on health (Due, 2014).

Secondly, concerning the interaction with the ARSG, button control seems to be better than voice control, as regards both subjective and objective UX. The button control was reported as satisfactory by the participants. On the contrary, voice control was poorly evaluated. Moreover, this control mode affected the performance. Participants needed more time to perform the two tasks in the voice condition than in the button condition. Furthermore, the study underlined a strong negative impact of the wind on the voice recognition making use in outdoor conditions difficult. These voice recognition problems are reported in other research (McNaney et al., 2014; Muensterer et al., 2014). Moreover, users request voice commands in their native language (Romare et al., 2018). All these limitations make the smart glasses hard to use in a real hands-free way whereas this is the main benefit of the device.

Thirdly, the compatibility of ARSG with the occupational context of viticultural advisors is still under question (Syberfeldt et al., 2017). The battery life is not adapted to an activity that is performed all day long such as plot diagnosis. This technical limitation has been pointed out in other studies (e.g., Elder & Vakaloudis, 2015). Furthermore, ARSG are not really designed for outdoor activities. Voice recognition and screen visibility can be impacted by the wind and the solar luminosity (Caria et al., 2019). Also, the resistance of the device to high temperatures or dust (Schall et al., 2018), is also debatable as its washability (Romare et al., 2018) or its capacity to work without an Internet connection. To conclude, while the participants considered the ARSGs had a potential to support plot diagnosis, their acceptability is still limited. The ARSG cost/benefit ratio is an obstacle. Beyond pragmatic acceptability, smart glasses have many challenges to meet, especially in terms of social interactions (Due, 2014), data privacy (Brusie et al., 2015) and software development (Muensterer et al., 2014). It is a long road to making smart glasses a tool and not just a fashion accessory (Hein et al., 2017). Research in human factors about smart glasses has to be pursued, in order to understand technological adoption from

a human centred perspective.

4.2.6. Recommendations for designers of ARSG

The designers of devices need to improve both hardware and software aspects. The following eight recommendations would increase ARSG comfort: (1) limiting the weight of the device to 100g (2) balancing the weight between the two branches of the glasses (3) cooperating with optical experts to deal with the accommodation/convergence conflict (4) improving the attachment of ARGS on the user's face (5) adapting the screen visibility to the solar luminosity (6) increasing the battery life (7) protecting the device from high temperatures and dust (8) developing a washable device. Moreover, four recommendations would increase the ARSG user experience: (1) developing the voice control in the user's native language, (2) creating more intuitive voice commands, (3) improving the voice control in windy conditions, (iv) developing specific applications. Designers can follow a participative and iterative approach, integrating real end-users into the design, with regular user tests combining subjective and objective measures of the device acceptability (comfort and UX).

Cette dernière contribution empirique a présenté une démarche d'évaluation de l'acceptabilité d'une technologie. La section suivante porte sur la discussion générale de ce travail de thèse. Après un bilan des apports empiriques, des contributions théorique et pratique de ce travail sont proposées, avant de conclure le manuscrit.

PARTIE IV : DISCUSSION GENERALE ET CONTRIBUTIONS DE LA THESE

IV. 1. Bilan de nos apports empiriques

L'objectif de cette thèse était double. D'une part, il s'agissait de comprendre les déterminants du processus d'adoption technologique, en situation professionnelle, dans une perspective ergonomique. D'autre part, le but était d'engager une réflexion sur la pratique de l'ergonomie en faveur de ce processus d'adoption technologique.

Notre contribution empirique se compose de 4 études. Elles se basent sur des méthodologies variées mais sont toutes liées par la volonté de comprendre et d'agir sur la notion centrale de cette thèse : le processus d'adoption technologique. Ces 4 études ambitionnent de produire des connaissances à la fois sur l'activité humaine (celle de conseiller et de viticulteur) et sur l'action ergonomique.

L'étude 1 visait à comprendre les raisonnements élaborés par les viticulteurs pour intervenir dans les parcelles : faut-il intervenir ? Si oui, comment et quand ? Des pistes de transformation des pratiques agricoles portent sur ces raisonnements (cf. I.3.2), ce « choix tactique » (Aujas et al., 2011) : supprimer les traitements systématiques, réduire la fréquence et les doses de traitement, limiter les phénomènes de résistance, minimiser l'impact environnemental et sanitaire en choisissant des produits phytosanitaires adaptés, optimiser le positionnement de l'intervention etc. (Aubertot et al., 2005 ; Mezière & Gary, 2009 ; Moreira, 2017). Cependant, ces raisonnements restent peu renseignés dans la littérature, alors qu'ils rythment le quotidien des viticulteurs sur la période mai/juin/juillet et qu'ils tiennent une place importante dans leur savoir-faire (Valdivieso Larrain, 2012). Comme le font remarquer Aubertot et al. (2005), les connaissances visant à comprendre les logiques, mises en œuvre par les agriculteurs pour décider d'une intervention, sont très faibles. Les données disponibles se limitant souvent à des analyses statistiques sur le nombre de traitements. Comprendre les raisonnements menant aux interventions est donc nécessaire pour concevoir des technologies adaptées à l'activité des producteurs, favorisant l'adoption de ces systèmes par ces utilisateurs. L'étude 1 s'est intéressée aux paramètres mobilisés par les viticulteurs pour, d'une part, décider d'une intervention, et d'autre part planifier le moment de sa réalisation (positionnement de

l'intervention). Des entretiens semi-directifs ont été réalisés avec 5 viticulteurs engagés dans la prestation de suivi proposée par la coopérative agricole.

Cette étude met en évidence la complexité des raisonnements élaborés par les viticulteurs pour décider d'une intervention et de son positionnement. La première étape (décider d'intervenir) nécessite l'intégration d'informations dans 7 grandes catégories : observations et analyses sur parcelle, interventions obligatoires, coût financier et organisationnel de l'intervention, caractéristiques des parcelles (cépage, historique, développement de la vigne, environnement proche), préconisations envoyées par le conseiller, nature et du niveau du risque sanitaire pour la plante, caractéristiques techniques et réglementaires des produits phytosanitaires. La seconde étape (positionner l'intervention) requiert une analyse de données sur 6 grandes catégories : météo prévisionnelle (vent, précipitations, gel etc.), caractéristiques de la parcelle (environnement proche), préconisations envoyées par le conseiller, caractéristiques techniques et réglementaires des produits phytosanitaires (durée de vie, risque de lessivage, délai de rentrée, délai avant récolte...), nature du risque sanitaire pour la vigne (champignons ou insectes), organisation du travail (disponibilité des producteurs, adéquation avec les autres activités). La complexité des raisonnements est renforcée par 4 aspects. Premièrement, les informations mobilisées pour élaborer la décision sont interdépendantes. Deuxièmement, ces raisonnements sont soumis à plusieurs sources d'incertitude, concernant notamment les prix, les événements épidémiologiques et les réglementations. Troisièmement, ces raisonnements doivent se construire sous contraintes temporelles à courts, moyens et longs termes (Nicourt, 2016). Enfin, la complexité des raisonnements est exacerbée par les enjeux, forts et variés, en termes de production, d'organisation ou de rentabilité économique. Ces résultats résonnent avec ceux de They et collaborateurs (2015). Aussi, ces raisonnements complexes doivent être gérés simultanément à une quinzaine d'activités à la fois viticoles (ex : entretien du sol et du palissage, opérations en vert, taille) et non viticoles (ex : transformation du raisin, vente, gestion de l'exploitation).

L'étude 1 met donc en avant un agriculteur aux multiples casquettes de plus en plus soumis aux exigences de la traçabilité des interventions, dans la lignée des travaux de Cerf & Sagory (2004), Chizallet (2019), Joly (2011), ou encore Jourdan (1990). De plus, l'étude 1 souligne que les viticulteurs sont unis par 3 grandes principales motivations pour adhérer à la prestation de suivi personnalisé : un soutien pour l'activité d'observation des parcelles, un appui pour la gestion des problèmes sanitaires de la vigne et une aide au changement de pratiques (en particulier dans le raisonnement des interventions sur cultures) pour mieux répondre aux enjeux économiques,

environnementaux et sanitaires. En revanche, cet échantillon témoigne d'une importante variabilité (raisin cultivé, taille et morcellement des parcelles, cahiers des charges suivis, enjeux de production etc.) entre les 2 principaux terroirs : le Frontonnais et le Quercy tarn-et-garonnais. Cette variabilité des agriculteurs et des contextes de production est mise en évidence dans d'autres recherches (voir par exemple Roussy et al., 2015).

L'étude 2 avait pour objectif d'analyser la contribution de l'intervention ergonomique au processus d'adoption technologique. L'intervention est une méthodologie d'accompagnement ergonomique (Lecoester et al., 2018) qui rassemble des connaissances, des méthodes et des pratiques pouvant être mobilisées par l'ergonome intervenant (Daniellou & Béguin, 2004) dans un but de transformation de la conception (Landry, 2008). Elle fait l'objet d'une construction technique et sociale et se base sur l'activité (Daniellou & Béguin, 2004 ; Poley, 2015 ; Petit-Delecourt, 2018) pour initier une transformation des situations de travail en collaboration avec des acteurs de différents mondes professionnels (Daniellou et al., 2011). Dans un projet de conception, tous ces acteurs sont porteurs de représentations (Tricot & Plégat-Soutjis, 2003 ; Visser, 2009), notamment sur les usages et les usagers (Cerf, 2001). Ces représentations sont très variables d'un acteur à un autre (Folcher, 2015), pouvant entraîner des décalages sociocognitifs (Cahour, 2002). De plus, elles sont rarement basées sur une analyse de l'activité (Chevalier et al., 2004 ; Darses & Wolff, 2006 ; Akrich, 1993 ; Nicolas, 2000, cité par Béguin et Pueyo, 2011). Or, ces représentations se « cristallisent » (Béguin, 2007) dans le produit de la conception, ici une application mobile pour conseiller agricole. Cet écueil induit le risque d'une conception inefficace (Garrigou et al., 1995) conclue par l'émergence d'un artefact peu adapté à l'activité des utilisateurs, représentant un frein à son adoption (cf. II.2.7). L'étude 2 est une recherche-action qui explore, à partir d'une pratique réflexive, les effets de l'intervention ergonomique sur la réduction de ces décalages.

Les résultats mènent d'abord à un « portrait objectivé » (Teiger, 2007, citée par Landry, 2008) du travail de conseiller. Le conseiller a pour objectif d'assurer un bon état à la fois sanitaire et physiologique de la vigne, pour la campagne en cours et celles du futur. La priorité se porte sur l'anticipation des risques pour éviter l'emploi de pesticides curatifs. Le conseil est adressé à un ou plusieurs viticulteurs et varie dans sa nature (interventions phytosanitaires mais également opérations en vert ou interventions en fertilisation par exemple). Ce portrait montre aussi l'importance des communications à double sens entre le conseiller et le viticulteur pour co-construire la préconisation. Enfin, ce portrait révèle une dizaine de paramètres sur lesquels le

conseiller s'appuie pour élaborer et/ou justifier sa préconisation : caractéristiques du vignoble (cépage, topographie etc.), météo passée et prévisionnelle, données du secteur géographique (météo, pressions...), programme prévisionnel réalisé en morte saison, réseau de pièges, analyses de sol, données règlementaires et techniques des produits, informations remontées par le viticulteur (ex : observations, interventions déjà réalisées), historique de la parcelle, modélisation des risques (champignons, Eudémis) et réglementation sur les traitements obligatoires. Ces résultats complètent une littérature peu abondante sur l'activité de conseiller agricole (Cerf & Magne, 2007). Les résultats indiquent également que les représentations des concepteurs sont éloignées de ce portrait objectivé, en particulier sur 5 points : la nature du conseil (qui serait forcément une intervention phytosanitaire), son objectif (qui serait curatif), sa justification (qui serait exclusivement les observations), l'enchaînement des étapes pour élaborer une préconisation et la destination du conseil (qui serait uniquement individuel). Pour finir, les résultats montrent que l'intervention ergonomique a permis un ajustement sociocognitif entre acteurs de la conception (Falzon, 2005), sur la base du portrait objectivé et de la compréhension des représentations des concepteurs sur l'activité de conseiller agricole. Cet ajustement s'est concrétisé par l'intégration de nouvelles fonctionnalités dans l'application mobile : élaboration d'un conseil sur l'état physiologique de la vigne, envoi d'une préconisation à plusieurs viticulteurs, possibilité de choisir la nature du conseil (interventions phytosanitaires, fertilisation, opérations en vert, mesures prophylactiques etc.) et possibilité de choisir la justification du conseil (réglementation, OAD, alerte météo).

Cette recherche-action défend l'idée que l'intervention ergonomique peut permettre d'agir sur le processus d'adoption technologique. En effet, cette intervention se déroule dès le stade de la conception, étape où l'adoption technologique trouve ses racines. Aussi, elle a permis une « synchronisation cognitive » entre acteurs de la conception (Falzon, 2005), sur la base de l'analyse de l'activité, contribuant à l'émergence d'un artefact adapté à l'activité, ce qui est favorable à son adoption (cf. II.2.7).

Le but de l'étude 3 était de comprendre le processus de recherche visuelle d'Eudémis pour essayer d'anticiper l'utilisation future du piège connecté. La gestion actuelle du risque Eudémis va être profondément transformée par l'implémentation du piège connecté en cours de conception dans le projet VitiOptimum. Le conseiller va passer d'un relevé, hebdomadaire, en présentiel dans les parcelles ; à la réception de données (nombre d'Eudémis identifiés par le système et imagerie bases de l'identification) directement au bureau. Les changements

envisagés portent donc sur une diminution des déplacements du conseiller dans les parcelles, sur une diminution de la saisie informatique des données, sur une augmentation de la fréquence de relevé (d'hebdomadaire à quotidienne) et sur la relation utilisateur-système. Dans l'utilisation future du piège connecté, l'identification des Eudémis sur les imageries envoyées par le piège impliquera le processus de recherche visuelle.

Dans la littérature, ce processus est présenté comme étant sous influence de facteurs ascendants et descendants (Chen & Zelinsky, 2006). A travers le modèle populaire de la Feature Integration Theory, Treisman et Gelade (1980) montrent, qu'en fonction des caractéristiques visuelles de la cible et des distracteurs, la recherche visuelle peut être réalisée en parallèle, sans contrôle attentionnel, avec un traitement quasi-simultané de tous les items visuels sur un nombre limité d'attributs (couleur, forme, taille) ; ou en série, sous contrôle attentionnel, avec un traitement limité du nombre d'items visuels. La similarité, entre la cible et les distracteurs d'une part, et entre les distracteurs d'autre part, est donc un déterminant majeur de la recherche visuelle (Alexander & Zelinsky, 2012 ; Duncan & Humphreys, 1989). Le Guided Search Model de Wolfe (1989 ; 1994 ; 2007) souligne, dans une vision moins dichotomique que la Feature Integration Theory, que le traitement pré-attentif alimente le traitement attentif. Dans ce modèle, les différentes localisations de la scène sont traitées en parallèle, pour extraire grossièrement les informations sur les caractéristiques visuelles basiques, et activer la carte de traits de façon ascendante. Les connaissances sur les caractéristiques visuelles de la cible activent la carte de traits de façon descendante. Cette double activation de la carte de traits permet de guider la recherche en série. Les connaissances de l'individu concernent également la localisation la plus probable de la cible au regard du contexte (Neider & Zelinsky, 2006) et la probabilité de trouver la cible dans la scène visuelle (Nocum et al., 2013). Ces connaissances influencent le processus de recherche visuelle d'une cible donnée.

Au regard de cette littérature, des hypothèses ont été formulées sur l'effet de la similarité cible-distracteur, sur la détection automatique de traits visuels caractérisant la cible, et sur l'effet des informations contextuelles. Pour tester ces hypothèses, 50 étudiants de l'Université Toulouse Jean Jaurès ont participé à une expérience visant à identifier des Eudémis parmi des insectes pertinents dans le contexte de cette recherche visuelle.

A la vue des résultats, la similarité cible-distracteurs a un effet négatif sur la recherche visuelle. Plus le nombre de traits partagés entre la cible et les distracteurs est important, plus les participants reportent des distracteurs comme étant des cibles et plus ils sont lents pour répondre, que la cible soit présente ou absente. Les résultats indiquent également que la

recherche visuelle d'Eudémis requiert une recherche sérielle sous contrôle attentionnel. L'identification d'Eudémis sur les imageries mobilisera donc les ressources cognitives attentionnelles du conseiller. Ce résultat est à considérer dans l'organisation de l'utilisation future du piège connecté pour favoriser l'acceptabilité du système. Enfin, les résultats ne révèlent aucun effet des informations contextuelles, données aux participants en préambule de l'expérience, sur la performance de la recherche visuelle. Globalement, cette étude montre que, malgré l'effet négatif de la similarité cible-distracteurs, les participants, novices dans cette tâche, sont très performants dans la recherche visuelle d'Eudémis, qui est réalisée sous contrôle attentionnel. Leurs erreurs s'expliquent très majoritairement par des faux positifs : les participants prennent les distracteurs, très ressemblant à la cible, pour des Eudémis. Cette étude peut être envisagée comme une forme de simulation de la tâche. Elle a permis d'analyser les formes possibles de l'activité et de ses effets, en manipulant des déterminants spécifiques de la situation future anticipée (Clot & Leplat, 2005 ; Burkhardt & Sperandio, 2004). Elle a également permis de ramener, dans le processus de conception, des questions relatives à l'utilisation future du piège d'une part, et des questions relatives à la confiance (Hoc, 2004) accordée par le conseiller au système, d'autre part.

L'étude 4 portait sur l'évaluation de l'acceptabilité de lunettes intelligentes de réalité augmentée. Dans le cadre du projet VitiOptimum, ce système a été initialement prévu comme support de l'application mobile pour l'observation des parcelles. Le mode opératoire actuel repose sur une prise de notes papier-crayon suivie d'une retranscription, au bureau, des données au format numérique. Il est vu comme une source de perte de temps et de potentielles erreurs par les acteurs du projet.

Plusieurs études suggèrent des avantages de l'utilisation de lunettes connectées en termes de performance et de confort : réduction du temps pour une tâche expérimentale de préparation de commandes (Kim et al., 2019) ; diminution des erreurs, en comparaison d'un support papier, pour une tâche de désassemblage de téléphone (Wang et al., 2019) ; possibilité de libérer les mains de l'utilisateur de guides touristiques papiers (Alce et al., 2015) ; possibilité pour l'utilisateur de fixer son regard sur un objet tout en ayant de l'information virtuelle visuelle sur ce dernier (un objet d'art par exemple, Vainstein et al., 2016). Au regard de cette littérature, le scénario envisagé pour l'utilisation des lunettes connectées est de collecter, directement au format numérique, un ensemble d'informations sur la vigne, tout en observant et touchant la plante. Toutefois, pour que ses bénéfices potentiels se concrétisent, les lunettes connectées

doivent être utilisées par les conseillers agricoles, et ce en commandes vocales. Les études sur l'acceptabilité des dispositifs de réalité augmentée sont rares pour les activités réalisées en extérieur (Aaltonen & Laarni, 2017), en particulier en agriculture (Caria et al., 2019). Surtout, aucune d'entre elles n'implique les utilisateurs finaux à notre connaissance.

L'étude impliquait 7 conseillers agricoles de la coopérative, dans 3 tâches simulant l'observation des parcelles et la prise de notes associée : réaliser un parcours pédestre, enregistrer un message vocal, rechercher une photo dans l'environnement numérique des lunettes. Après avoir accompli ces 3 tâches (en commande vocales et physiques pour les 2 dernières tâches), les participants évaluaient l'acceptabilité du système sur 2 paramètres : l'expérience utilisateur (utilité, facilité d'utilisation, facilité d'apprentissage, fiabilité, satisfaction, intégration dans les pratiques) et le confort (douleur, attachement/fixation, impact sur les mouvements, anxiété, changement perçu, émotion). Des entretiens semi-directifs concluaient les tests. La durée des tâches, le temps d'ajustement des lunettes et la durée totale de port étaient également recueillis pendant les tests utilisateur.

Les résultats indiquent un score global de confort négatif, avec 3 dimensions évaluées négativement (douleur, changement perçu et attachement/fixation), 2 dimensions au score neutre (impact sur les mouvements et émotion) et seulement une dimension évaluée positivement (anxiété). Les durées de réalisation des 2 tâches sont plus élevées en commandes vocales qu'en commandes physiques avec une différence significative pour la tâche d'enregistrement du message vocal. Globalement, les participants ont attribué un score plus élevé d'expérience utilisateur pour les commandes physiques que pour les commandes vocales. Deux différences sont significatives (la facilité d'utilisation et la fiabilité), une différence est marginalement significative (le score global d'expérience utilisateur) tandis que trois différences (satisfaction, facilité d'apprentissage et utilité) n'atteignent pas le stade de significativité. Une seule dimension (l'intégration dans les pratiques) est mieux évaluée en commandes vocales qu'en commandes physiques, sans que cette différence ne soit significative. Au cours des entretiens, les participants expriment des problèmes d'attachement/fixation des lunettes sur le visage ainsi que des sensations douloureuses (sur l'œil dominant, sur l'oreille et par la perturbation du champ visuel). Ces résultats font écho aux travaux de Brusie et al. (2015), Due (2014), Motti & Caine (2014) ou encore Romare et al. (2018), et sont des obstacles à une utilisation des lunettes sur une journée entière de travail. L'analyse des commentaires des participants révèle qu'ils sont sensibles, en termes de confort et d'utilité, au côté main-libres des lunettes. Ils déclarent qu'ils pourraient alors utiliser leurs

mains pour toucher la vigne ou se protéger en cas de chute, ainsi qu'éviter d'avoir leurs mains encombrées par des papiers ou de toucher leur équipement quand leurs mains sont sales. Plusieurs avantages potentiels des lunettes sont exprimés tels que l'économie de temps, la prise de notes sans papier et la possibilité de lire des documents pendant l'observation des parcelles. Les entretiens font également ressortir de nombreuses limites du contrôle vocal (ex : commandes non reconnues, mouvements de l'environnement numérique non désirés, problème d'accent anglais, commandes oubliées, nécessité de répéter les commandes plusieurs fois), confirmant les recherches de McNaney et al. (2014) ou de Muensterer et al. (2014). Par ailleurs, des aspects techniques du système (durée de vie de la batterie, visibilité de l'écran en luminosité solaire, résistance aux poussières et aux températures élevées, capacité à être lavé) questionnent la compatibilité des lunettes avec l'environnement professionnel des utilisateurs (cf. Caria et al. 2019 ; Elder & Vakaloudis 2015 ; Syberfeldt et al., 2017 ; Schall et al. 2018), ici des conseillers agricoles. Avant de proposer des recommandations logicielles et matérielles pour la conception de lunettes connectées, l'étude montre que, si les participants perçoivent des avantages potentiels à utiliser les lunettes connectées, les problèmes de confort et d'expérience utilisateur restent des freins à l'acceptabilité de cette technologie.

L'apport empirique de cette thèse, couplé à l'analyse de la littérature, conduit à une contribution à la fois théorique et pratique sur l'adoption technologique, notion centrale de ce travail. La contribution théorique porte sur la modélisation de l'adoption technologique. La contribution pratique concerne les actions ergonomiques pour soutenir l'adoption technologique.

IV. 2. Contribution théorique à la modélisation de l'adoption technologique

L'analyse de la littérature (cf. II.1.2) montre que les modèles « classiques » de l'adoption technologique sont très nombreux. Contribuer au domaine passe donc par une approche inédite (Baudet & Lebraty, 2018), une nouvelle grille de lecture (Alexandre et al., 2018). D'un point de vue de l'ergonomie, une nouvelle approche de l'adoption technologique, doit répondre aux 3 principales limites des modèles classiques (cf. II.2.7) : (i) la nécessité d'une restructuration des facteurs de l'adoption dans une vision plus macroscopique, (ii) une modélisation réductrice de l'Homme, ne prenant pas simultanément en compte l'utilisateur dans ses 4 dimensions (biologique, cognitive, sociale et psychique) et considérant trop faiblement

les déterminants socio-organisationnels de l'adoption, et (iii) l'absence de l'intégration de l'activité de l'utilisateur.

Une nouvelle grille de lecture de l'adoption technologique doit également tenir compte des déterminants mis en évidence dans nos 4 études.

L'étude 1 indique que l'activité du viticulteur est complexe, soumise à des incertitudes et inscrite dans différentes échelles temporelles (à courts, moyens et longs termes). Elle souligne également la variabilité des situations de travail en agriculture. Cette étude suggère qu'il est difficile d'appliquer, en agriculture, des cadres théoriques qui tiennent peu compte du contexte. Une nouvelle grille de lecture sur l'adoption technologique doit donc permettre d'appréhender la complexité et la variabilité. *L'étude 2* porte à penser que la manière dont le processus de conception est mené influence l'acceptabilité d'un système. Dans notre cas, des décalages sociocognitifs, entre acteurs de la conception, auraient pu conduire à une application mobile inadaptée à l'activité de conseiller agricole, notamment en termes de fonctionnalités proposées par le système. Une nouvelle grille de lecture sur l'adoption technologique doit donc intégrer les différentes étapes de la relation utilisateur-technologie-contexte, de la conception à l'usage en passant par l'implémentation du système. *L'étude 3* démontre que les caractéristiques visuelles du système (ici les traits visuels des items présents sur les imageries envoyées par le piège) pourraient impacter l'utilisation future du piège connecté, entraînant des effets sur l'individu (surcharge cognitive potentielle, fatigue, frustration) et sur la performance (nombre d'erreurs et temps de réalisation de l'identification d'Eudémis dans notre cas). Ces caractéristiques visuelles, de même que la confiance que l'utilisateur accordera aux informations transmises par la machine, questionnent l'acceptabilité du système. Enfin, *l'étude 4* montre que les déterminants de l'acceptabilité d'une technologie (ici wearable) sont liés au confort lors de l'utilisation, au mode de contrôle (boutons physiques vs commandes vocales) et à la comptabilité du système avec l'environnement professionnel de l'utilisateur.

Une nouvelle grille de lecture de l'adoption technologique doit également « dialoguer avec les modèles antérieurs » (Petit et al., 2007). Elle doit tenir compte des facteurs de l'adoption technologique mis en évidence dans les modèles classiques. Elle doit intégrer l'effet rétroactif de l'utilisation de la technologie sur son adoption (Amadiou et al., 2019 ; Sagnier et al., 2019). Elle doit offrir un cadre d'analyse aux processus d'instrumentation et d'instrumentalisation de l'approche instrumentale. Les régulations (sur l'individu, la

technologie et l'organisation) découlant de l'utilisation doivent apparaître dans cette nouvelle grille de lecture, rejoignant les travaux récents sur la technosymbiose. Enfin, une nouvelle grille de l'adoption technologique doit accorder une place aux 4 dimensions (personnelle, interpersonnelle, métapersonnelle et transpersonnelle) de l'acceptation située (cf. II.3.2).

En complément de cette contribution théorique, qui appelle à une nouvelle modélisation de l'adoption technologique, ce travail de thèse apporte des pistes de réflexion sur l'action ergonomique.

IV. 3. Contribution pratique

Plusieurs contributions pour la pratique de l'ergonomie peuvent être extraites de ce travail de thèse.

L'étude 1 proposait un exemple d'analyse de l'activité des futurs utilisateurs d'un artefact, basée sur une méthode d'entretiens. Cette analyse a contribué à comprendre les raisonnements élaborés par les viticulteurs pour décider et positionner une intervention et à spécifier le contexte d'utilisation de la technologie. Elle constitue un appui pour « faire coller » une technologie au travail réel des usagers, pour favoriser son acceptabilité (Amadiou et al., 2019 ; Bobillier-Chaumon, 2013 ; Dillon & Morris, 1999 ; Lamb et al., 2008 ; Goodhue & Thompson, 1995). Un nombre plus important de participants aurait probablement permis d'affiner la compréhension des raisonnements des viticulteurs. Cette limite trouve son explication dans le faible nombre de viticulteurs engagés dans le suivi personnalisé d'une part (une quinzaine en tout), et dans l'organisation du projet qui ne leur donne aucun rôle d'acteur de la conception, d'autre part. Au final, un tiers des viticulteurs éligibles aux entretiens ont participé à cette démarche qualitative et exploratoire. Par ailleurs, les recherches sur l'activité des viticulteurs sont à poursuivre, que ce soit sur le raisonnement pour les interventions culturelles ou d'autres facettes de cette activité complexe. D'autres méthodologies pourraient être utilisées, comme l'analyse de traces écrites de l'activité (Grosdemouge, 2017 ; Joly, 2011), à travers notamment les carnets de culture, des journaux de bord ou des technologies de traçabilité des interventions culturelles ; ou des approches collectives d'analyse de l'activité, par exemple de type allo-confrontation (Lafeuillade & Nascimento, 2018).

L'étude 2 concernait une intervention ergonomique, à la fois pour la conception (avec une modification du cahier des charges de l'application mobile pour conseiller) et dans la conception (avec la synchronisation cognitive entre acteurs de la conception au sujet de l'activité de l'utilisateur). Ces 2 orientations de l'intervention en conception apparaissent comme des soutiens à la conception de technologies adaptées à l'activité des utilisateurs, favorisant leur acceptabilité. Une limite de cette recherche-action réside dans la faible description des communications au sein du portrait objectivé de l'activité de conseiller. Ces communications sont pourtant un aspect majeur dans le travail du conseiller et un axe important du projet VitiOptimum. Cette étude ouvre 2 perspectives de recherche. La première concerne les recherches sur la conception participative. Si des travaux existent déjà (voir par exemple Barcellini et al., 2015 ; Caelen, 2009 ; Darses & Reuzeau, 2004 ; Norros & Savioja, 2007 ; Reuzeau, 2001), l'application au domaine spécifique de la conception de technologies pour les utilisateurs du monde agricole est à développer, notamment l'intégration des agriculteurs à la conception (rôle, organisation pratique, compensations du temps accordé à la conception etc.). La variabilité des exploitations, la faible disponibilité des agriculteurs, ainsi que l'éclatement géographique et social des producteurs (contrairement à des utilisateurs regroupés dans une même industrie par exemple) sont autant de défis à relever. La seconde perspective porte sur la recherche évaluative (Burkhardt & Sperandio, 2004 ; Landry, 2008) pour comprendre et mesurer les effets, d'interventions ergonomiques en conception, sur l'acceptabilité des technologies.

L'étude 3 se rapportait à une simulation de la tâche, pour anticiper la recherche visuelle qui sera menée lors de l'identification d'imagettes envoyées par le piège connecté. Cette expérience a permis de comprendre cette recherche visuelle en testant l'effet de variables spécifiques, et permis d'analyser les formes possibles de l'activité et de ses effets. La principale limite de cette étude est ne pas avoir pu mobiliser des utilisateurs finaux (ici les conseillers agricoles). Réaliser l'expérience avec des conseillers agricoles aurait pu conduire à une plus forte contribution de la simulation, à la fois sur les objets et les individus (Van Belleghem, 2018). En sollicitant les opérateurs qui mettront en œuvre de façon effective le système (Folcher & Rabardel, 2004), l'anticipation de l'activité et ses effets aurait été plus écologique. La conception du piège connecté aurait pu en être renforcée. De plus, intégrer les conseillers agricoles comme sujets de l'étude leur aurait permis de tester la future utilisation, de ressentir cette situation, contribuant à leur développement (Daniellou, 2007). Cette principale limite

trouve son explication dans l'opérationnalisation de la démarche expérimentale. En effet, Eudémis étant un ravageur spécifique de la vigne, un seul conseiller de la coopérative réalise l'identification de ce ravageur fréquemment. Un second autre conseiller, de par son expérience, aurait pu être considéré comme un expert de cette tâche. Toutefois, ce très faible échantillon de participants n'est pas compatible avec l'approche statistique de la démarche expérimentale.

L'étude 4 proposait une méthodologie de test utilisateur pour apprécier l'acceptabilité d'une technologie. L'identification des barrières à l'acceptation du système (ici des lunettes intelligentes de réalité augmentée) a mené à des recommandations matérielles et logicielles pour les concepteurs de cet artefact. Cette action ergonomique peut donc concourir à la re-conception de la technologie. Par ailleurs, cette évaluation combinait des mesures à la fois subjectives (questionnaires de confort et d'expérience utilisateur) et objectives (temps de réalisation des tâches, durée de port des lunettes). De nombreux modèles de l'adoption technologique se basent uniquement sur le recueil de données subjectives (Deconde, 2009). Cette méthodologie présente des limites que Legris et collaborateurs soulignent dans leur article de 2003. Les recherches récentes prônent de plus en plus des approches mixtes de l'adoption, avec des mesures objectives et subjectives (Alexandre et al., 2018 ; Bobillier Chaumon, 2016 ; Cippelletti, 2017 ; Février, 2011 ; Isaac et al., 2006 ; Martin, 2018). Même si ces différentes mesures peuvent être contradictoires (Davis, 1989 ; Robin, 2012), elles permettent de mieux « cerner les différentes facettes d'un objet de recherche » (De Benedittis & Benhayoun-Sadafiyyine, 2018, p141). La principale limite de l'étude 4 réside dans le faible nombre de participants. Cette s'explique par notre volonté de mobiliser des utilisateurs finaux (conseillers agricoles), ce qui nous semble être une condition nécessaire pour évaluer l'acceptabilité d'une technologie pour une situation déterminée (ici le diagnostic des parcelles). Ce faible effectif peut limiter l'analyse statistique des résultats et la possibilité de voir apparaître des différences significatives. Cependant, selon Nielsen 4 ou 5 participants suffisent pour détecter 80% des problèmes d'utilisabilité (Deconde, 2009 ; Grondin et al., 2002). Impliquer un plus grand nombre d'utilisateurs finaux est une perspective intéressante qui requiert un important travail d'opérationnalisation des tests (accès aux participants, disponibilité, etc.).

IV. 4. Conclusion

Face au développement des enjeux économiques, environnementaux, sanitaires et sociaux, les pratiques viticoles doivent évoluer. La transformation des pratiques cible en particulier l'usage des produits phytosanitaires. Les pistes de transformation envisagées portent sur la suppression de ces produits, une meilleure application de ces intrants ainsi qu'une amélioration de la prise de décision des agriculteurs quant à leur utilisation. Le conseil agricole et les technologies (logiciels, capteurs, imagerie, machines et robots agricoles, technologies de l'information et de la communication etc.) représentent des moyens jugés prometteurs pour soutenir ces pistes de transformation. Malgré leur essor, ces systèmes restent peu adoptés par les utilisateurs finaux (conseillers agricoles et viticulteurs), questionnant le processus d'adoption technologique.

La littérature montre que les modèles « classiques » ont participé à la définition de facteurs de l'adoption technologique et à la mise en évidence de leurs effets. En complément de ces modèles, les approches en lien avec le concept d'activité ont souligné le rôle actif de l'utilisateur, le caractère systémique et situé du processus d'adoption et l'importance de la conception des systèmes. Après avoir exposé leurs bases théoriques, 4 actions ergonomiques ont été déployées dans le cadre de cette thèse inscrite dans le projet VitiOptimum. L'application concrète de ces actions soutenait le double objectif poursuivi par cette thèse. D'une part, comprendre le processus d'adoption technologique dans une perspective ergonomique. D'autre part, engager une réflexion sur l'action ergonomique pouvant favoriser ce processus.

Les 4 contributions empiriques amènent plusieurs éléments pour comprendre l'adoption technologique et agir sur ce processus. Elles mettent en lumière l'influence de plusieurs facteurs de l'adoption d'un système tels que l'activité de l'utilisateur, complexe, incertaine et variable d'une situation à une autre ; la compatibilité de ce système avec l'environnement professionnel de l'utilisateur ; le processus de conception de ce système, les fonctionnalités qu'il porte, ses caractéristiques visuelles, le confort lié à son utilisation ou encore la façon dont il est contrôlé par l'utilisateur (commandes physiques, vocales etc.). Ces différents déterminants de l'adoption technologique pourraient enrichir les modèles théoriques existants. Ils pourraient également être présentés dans une nouvelle modélisation de l'adoption technologique pour laquelle cette thèse propose des repères de construction (ex : restructuration macroscopique des facteurs ; intégration des dimensions biologique, cognitive, sociale et psychique de l'utilisateur ;

considération pour les déterminants socio-organisationnels de l'adoption ; prise en compte l'effet rétroactif de l'utilisation de la technologie sur son adoption etc.).

Cette thèse apporte des connaissances sur l'activité agricole (conseiller et viticulteur), sur le fonctionnement de l'Homme (processus de recherche visuelle) ainsi que sur l'action ergonomique en présentant des exemples d'analyse de l'activité, d'intervention en conception, de simulation et de test utilisateur, relatifs à la notion d'adoption technologique. Ce travail ouvre plusieurs perspectives de recherche pour soutenir le développement et l'implantation de technologies adaptées aux utilisateurs, favorisant leur adoption.

BIBLIOGRAPHIE

Aaltonen, I., & Laarni, J. (2017). Field evaluation of a wearable multimodal soldier navigation system. *Applied Ergonomics*, 63, 79-90. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2017.04.005>

Abernethy, & Russell, D. G. (1987). The relationship between expertise and visual search strategy in a racquet sport. *Human Movement Science*, 6, 283-319.

Achi, A., & Salinesi, C. (2015). Proposition d'un modèle d'innovation par l'usage des SI. *INFORSID*, 133-150. <https://hal-paris1.archives-ouvertes.fr/hal-01158236/>

Adopter (s.d). Dans *Le dictionnaire Larousse en ligne*. Consulté le 21 avril 2020 sur <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/adopter/1169>

Admettre (s.d). Dans *Le dictionnaire Larousse en ligne*. Consulté le 21 avril 2020 sur <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/admettre/1123?q=admettre#1113>

Agroscope Languedoc-Roussillon-Midi-Pyrénées (numéro 2; p. 16). (2016). Agreste.

Ajzen, I. (1985). From Intentions to Actions : A Theory of Planned Behavior. In J. Kuhl & J. Beckmann (Éds.), *Action Control* (p. 11-39). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-69746-3_2

Akrich, M. (1993). Les objets techniques et leurs utilisateurs, de la conception à l'action. In B. Conein, N. Dodier, & L. Thévenot, *Les objets dans l'action* (EHESS, p. 35-57). Raisons pratiques.

Akudugu, M. A., Guo, E., & Dadzie, S. K. (2012). Adoption of modern agricultural production technologies by farm households in Ghana : What factors influence their decisions. *Journal of biology, agriculture and healthcare*, 2(3), 14.

Alce, G., Wallergård, M., & Hermodsson, K. (2015). WozARd : A Wizard of Oz Method for Wearable Augmented Reality Interaction—A Pilot Study. *Advances in Human-Computer Interaction*, 2015, 1-10. <https://doi.org/10.1155/2015/271231>

Alexander, R. G., & Zelinsky, G. J. (2012). Effects of part-based similarity on visual search : The Frankenbear experiment. *Vision Research*, 54, 20-30. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2011.12.004>

Alexandre, B., Reynaud, E., Osiurak, F., & Navarro, J. (2018). Acceptance and acceptability criteria : A literature review. *Cognition, Technology & Work*, 20(2), 165-177. <https://doi.org/10.1007/s10111-018-0459-1>

Amadiou, F., Mulet, J., Van Der Linden, J., Lombard, J., & Van De Leemput, C. (2019). Acceptabilité des technologies d'apprentissage mobile : Le cas des tablettes. *Education Permanente*, 31-40.

Ambrosio, C., Linehan, C., & Kaine, G. (2006). Understanding adoption of precision agriculture technologies. *Practice Change for Sustainable Communities: Exploring Footprint, Pathways and Possibilities. Presented at the Proceedings of the 2006 APEN International Conference,, Beechworth, Victoria.* http://www.regional.org.au/au/apen/2006/refereed/4/2864_ambrosioc.htm

Arbelaez Garces, G. A. (2016). *Intégration des préférences des parties prenantes et amélioration de l'acceptabilité lors du processus de co-conception : Application au système de santé* [Thèse de doctorat en génie des systèmes industriels]. Université de Lorraine.

Arrêté du 30 décembre 2015 relatif à la mise en œuvre de la conditionnalité au titre de 2016, Pub. L. No. AGRT1530806A, 25412 (2015). <https://www.legifrance.gouv.fr/eli/arrete/2015/12/30/AGRT1530806A/jo/texte>

Arrêté du 30 juin 2014 modifiant l'arrêté du 25 novembre 2011 relatif au référentiel de certification prévu à l'article R.254-3 du code rural et de la pêche maritime pour l'activité «conseil indépendant de toute activité de vente ou d'application», Pub. L. No. AGRG1412504A, Code rural et de la pêche maritime 6 (2014).

Attributes of innovations and their rate of adoption. (1995). In E. M. Rogers, *Diffusion of innovations* (fourth edition, p. 204-251). The Free Press.

Aubertot, J.-N., Barbier, J.-M., Carpentier, A., Gril, J.-J., Guichard, L., Lucas, P., Savary, S., Savini, I., & Voltz, M. (2005). *Pesticides, agriculture et environnement. Réduire l'utilisation des pesticides et en limiter les impacts environnementaux.* (p. 68) [Expertise scientifique collective INRA-Cemagref]. INRA. <https://doi.org/10.3917/quae.exper.2011.01>

Aujas, P., Lacroix, A., Lemarié, S., & Reau, R. (2011). Réduire l'usage des pesticides. Un défi pour le conseil aux agriculteurs. *Économie rurale*, 324, 18-33. <https://doi.org/10.4000/economierurale.3071>

Bach, C., & Scapin, D. L. (2005). *Critères ergonomiques pour les interactions homme-environnements virtuels : Définition, justifications et exemples* (Rapport de recherche RR 5531; p. 47). INRIA.

Bages, R. (1992). Pratiques de l'informatique chez les agriculteurs et degrés d'appropriation. Une enquête dans la région Midi-Pyrénées. *Économie rurale*, 210(1), 10-16. <https://doi.org/10.3406/ecoru.1992.4476>

Barcellini, F., Prost, L., & Cerf, M. (2015). Designers' and users' roles in participatory design : What is actually co-designed by participants? *Applied Ergonomics*, 50, 31-40. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2015.02.005>

Barcenilla, J., & Bastien, J.-M.-C. (2009). L'acceptabilité des nouvelles technologies : Quelles relations avec l'ergonomie, l'utilisabilité et l'expérience utilisateur ? *Le travail humain*, 72(4), 311. <https://doi.org/10.3917/th.724.0311>

Barera, N., Valléry, G., & Leduc, S. (2017). Relation entre acceptabilité située des technologies et organisation agile dans le milieu du transport aérien. *Ergonomie des technologies pour le développement des compétences*, 9-16.

Bastien, C., & Scapin, D. (2004). La conception de logiciels interactifs centrée sur l'utilisateur : Étapes et méthodes. In P. Falzon, *Ergonomie* (p. 451-462). PUF.

Bastien, C., & Scapin, D. L. (1993). *Critères Ergonomiques pour l'Évaluation d'Interfaces Utilisateurs (version 2.1)* (Rapport de recherche Technical report N° 156; p. 83). INRIA.

Bastien, C., & Tricot, A. (2008). L'évaluation ergonomique des documents électroniques. In *Ergonomie des documents électroniques* (p. 205-227). Presses universitaires de France.

Baudet, C., & Lebraty, J.-F. (2018). Fred D. Davis—L'acceptation d'un modèle par les systèmes d'information. In I. Walsh, M. Kalika, & C. Dominguez-Péry, *Les grands auteurs en systèmes d'information* (p. 108-126). EMS Editions.
<http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&scope=site&db=nlebk&db=nlabk&AN=1822887>

Béguin, P. (2007). Prendre en compte l'activité de travail pour concevoir. *Activites*, 04(2), 107-114. <https://doi.org/10.4000/activites.1719>

Béguin, P., & Cerf, M. (2004). Formes et enjeux de l'analyse de l'activité pour la conception des systèmes de travail. *Activites*, 01(1), 54-71. <https://doi.org/10.4000/activites.1156>

Béguin, P., Dedieu, B., & Sabourin, E. (2011). Introduction. In *Le travail en agriculture : Son organisation et ses valeurs face à l'innovation* (p. 11-16). L'Harmattan.

Béguin, P., & Pueyo, V. (2011). Quelle place au travail des agriculteurs dans la fabrication d'une agriculture durable ? *Perspectives interdisciplinaires sur le travail et la santé*, 13(1), 27. <https://doi.org/10.4000/pistes.1708>

Béguin, P., & Rabardel, P. (2000). Concevoir pour les activités instrumentées. *Revue d'Intelligence Artificielle*, 14(1-2), 35-54.

Beitzel, S., Dykstra, J., Huver, S., Kaplan, M., Loushine, M., & Youzwak, J. (2016). Cognitive Performance Impact of Augmented Reality for Network Operations Tasks. In D. Nicholson

(Éd.), *Advances in Human Factors in Cybersecurity* (Vol. 501, p. 139-151). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-41932-9_12

Belopolsky, A. V., & Theeuwes, J. (2010). No capture outside the attentional window. *Vision Research*, 50(23), 2543-2550. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2010.08.023>

Bernoux, P., & Gagnon, Y.-C. (2008). Une nouvelle voie pour réussir les changements technologiques : La co-construction. *La Revue des Sciences de Gestion, Direction et Gestion*, 233, 51-58. <https://doi.org/10.1051/larsg:2008043>

Blazy, J.-M., Carpentier, A., & Thomas, A. (2011). The willingness to adopt agro-ecological innovations : Application of choice modelling to Caribbean banana planters. *Ecological Economics*, 72, 140-150. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2011.09.021>

Bobillier-Chaumon, Marc-Eric, & Dubois, M. (2009). L'adoption des technologies en situation professionnelle : Quelles articulations possibles entre acceptabilité et acceptation ? *Le travail humain*, 72(4), 355-382. <https://doi.org/10.3917/th.724.0355>

Bobillier-Chaumon, M.-É. (2013). *Conditions d'usage et facteurs d'acceptation des technologies dans l'activité : Questions et perspectives pour la psychologie du travail* [Habilitation à Diriger des Recherches]. Pierre Mendès-France.

Bobillier-Chaumon, M.-E. (2016). L'acceptation située des technologies dans et par l'activité : Premiers étayages pour une clinique de l'usage. *Psychologie du Travail et des Organisations*, 22(1), 4-21. <https://doi.org/10.1016/j.pto.2016.01.001>

Bobillier-Chaumon, M.-É., & Clot, Y. (2016). Clinique de l'usage : Les artefacts technologiques comme développement de l'activité : Synthèse Introductive au dossier. *Activites*, 13(2). <https://doi.org/10.4000/activites.2897>

Bocquet, R., & Brossard, O. (2008). Adoption des TIC, proximité et diffusion localisée des connaissances. *Revue d'Économie Régionale & Urbaine*, octobre(3), 411-446. <https://doi.org/10.3917/reru.083.0411>

Bornet, C., & Brangier, É. (2013). La méthode des personas : Principes, intérêts et limites. *Bulletin de psychologie, Numéro 524(2)*, 115. <https://doi.org/10.3917/bupsy.524.0115>

Bournigal, J.-M., Houllier, F., Lecouvey, P., & Pringuet, P. (2015). *Agriculture-Innovation 2025. 30 projets pour une agriculture compétitive & respectueuse de l'environnement* (p. 70). Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt.

Brangier, E. (2002). Approche ergonomique de l'assistance technique à l'homme : Vers un modèle de la symbiose homme-technologie-organisation? *Revue d'Interaction Homme-machine/Journal of Human-Machine Interaction*, 3(2), 19-34.

Brangier, É., Hammes-Adelé, S., & Bastien, J.-M. C. (2010). Analyse critique des approches de l'acceptation des technologies : De l'utilisabilité à la symbiose humain-technologie-organisation. *Revue Européenne de Psychologie Appliquée/European Review of Applied Psychology*, 60(2), 129-146. <https://doi.org/10.1016/j.erap.2009.11.002>

Brangier, Éric, & Hammes, S. (2007). Comment mesurer la relation humain-technologies-organisation? Élaboration d'un questionnaire de mesure de la relation humain-technologie-organisation basée sur le modèle de la symbiose. *Perspectives interdisciplinaires sur le travail et la santé*, 9-2, 14.

Brissaud. (2003). *L'ergonomie au service du conseil agricole*. (p. 164) [Mémoire de DESS Ergonomie et Psychologie du Travail]. ARACT Poitou-Charentes.

Brusie, T., Fijal, T., Keller, A., Lauff, C., Barker, K., Schwinck, J., Calland, J. F., & Guerlain, S. (2015). Usability evaluation of two smart glass systems. *Systems and Information Engineering Design Symposium (SIEDS), 2015*, 336–341. <http://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7117000/>

Burkhardt, J.-M., & Sperandio, J.-C. (2004). Ergonomie et conception informatique. In P. Falzon, *Ergonomie* (p. 437-450). PUF.

Caelen, J. (2009). Conception participative par « moments » : Une gestion collaborative. *Le travail humain*, 72(1), 79. <https://doi.org/10.3917/th.721.0079>

Cahour, B. (2002). Décalages socio-cognitifs en réunions de conception participative. *Le travail humain*, 65(4), 315-337. <https://doi.org/10.3917/th.654.0315>

Caneva, C. (2019). Facteurs d'adoption ou de rejet des technologies chez les professeurs-formateurs d'enseignants : Le cas de l'université costaricienne. *Revue internationale des technologies en pédagogie universitaire*, 16(1), 15-35. <https://doi.org/10.18162/ritpu-2019-v16n1-02>

Caria, M., Sara, G., Todde, G., Polese, M., & Pazzona, A. (2019). Exploring Smart Glasses for Augmented Reality : A Valuable and Integrative Tool in Precision Livestock Farming. *Animals*, 9(11), 903. <https://doi.org/10.3390/ani9110903>

Caroly, S. (2007). Les mutations du travail face aux défis technologiques : Quelles incidences sur la santé ? *PISTES : Perspectives interdisciplinaires sur le travail et la santé*, 9(2), 1-7.

Carpentier, A. (1996). Efficacité privée et publique de la gestion du risque phytosanitaire : Le rôle de l'infomation. *Cahiers d'économie et de sociologie rurales*, 39-40, 38-61.

Cazals, C. (2009). Qualités et innovations environnementales dans la viticulture et l'arboriculture fruitière : L'apport des mondes de production. *Revue d'économie industrielle*, 126, 31-52. <https://doi.org/10.4000/rei.3968>

Cerf, M., & Hemidy, L. (1999). Designing support to enhance co-operation between farmers and advisors in solving farm-management problems. *The Journal of Agricultural Education and Extension*, 6(3), 157-170. <https://doi.org/10.1080/13892249985300301>

Cerf, Marianne. (2001). Transformer les représentations par les concepteurs des situations d'usage : Une étape pour faciliter la participation des utilisateurs. *Actes des Journées d'étude en Psychologie ergonomique*, 41-48.

Cerf, Marianne, & Magne, M.-A. (2007). Comment les agriculteurs mobilisent-ils des interventions de développement ? *Activites*, 04(1), 112-122. <https://doi.org/10.4000/activites.1430>

Cerf, Marianne, & Meynard, J.-M. (2006). Les outils de pilotage des cultures : Diversité de leurs usages et enseignements pour leur conception. *Natures Sciences Sociétés*, 14(1), 19-29. <https://doi.org/10.1051/nss:2006004>

Cerf, Marianne, & Sagory, P. (2004). Agriculture et développement durable. In *Ergonomie* (p. 621-633). PUF.

Chadoin, M., Messing, K., Daly, T., Armstrong, P., & Vézina, N. (2016). « Si ce n'est pas documenté, ça n'a pas été fait » : Quand les indicateurs de gestion escamotent le travail invisible des femmes. *Perspectives interdisciplinaires sur le travail et la santé*, 18-2. <https://doi.org/10.4000/pistes.4830>

Charte du conseil coopératif. (2006). Coop de France.

Chen, X., & Zelinsky, G. J. (2006). Real-world visual search is dominated by top-down guidance. *Vision Research*, 46(24), 4118-4133. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2006.08.008>

Chevalier, A., Kicka, M., & Cegarra, J. (2004). *Quels sont les effets de la qualité ergonomique d'un site web et de l'expérience des utilisateurs sur la charge cognitive et le temps de navigation*. 9p. https://www.researchgate.net/profile/Aline-Chevalier/publication/267949378_Quels_sont_les_effets_de_la_qualite_ergonomique_d'un_site_web_et_de_l'experience_des_utilisateurs_sur_la_charge_cognitive_et_le_temps_de_navigation/links/54b79aac0cf24eb34f6ebed1/Quels-sont-les-effets-de-la-qualite-ergonomique-dun-site-web-et-de-l'experience-des-utilisateurs-sur-la-charge-cognitive-et-le-temps-de-navigation.pdf

Cheyrouze, M., & Barthe, B. (2018). Travail de nuit en 12 heures : Un « scénario de travail » élaboré par les infirmiers dans un service de réanimation. *Activites*, 15(1), 1-42. <https://doi.org/10.4000/activites.3073>

Chin, J. P., Diehl, V. A., & Norman, K. L. (1988). Development of an instrument measuring user satisfaction of the human-computer interface. *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*, 213–218. <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=57203>

Chizallet, M. (2019). *Comprendre le processus de conception d'un système de travail dans l'indivisibilité du temps. Le cas d'agriculteurs en transition agroécologique*. [Doctorat Ergonomie]. Conservatoire National des Arts et Métiers.

Cippelletti, E. (2017). *Aide à la conception, test de l'usage et de l'acceptation d'un logiciel de maintenance* [Thèse de doctorat en psychologie du travail et ergonomie]. Grenoble Alpes.

Clot, Y., & Leplat, J. (2005). La méthode clinique en ergonomie et en psychologie du travail. *Le travail humain*, 68(4), 289-316. <https://doi.org/10.3917/th.684.0289>

Compagnon, C., & Cerf, M. (2000). Utiliser et engendrer des communications pour aider à construire la tâche et organiser le travail lors d'un changement dans l'activité le cas du conseil en agriculture. *Actes du 35ième Congrès de la SELF*, 354-352.

Compeau, D., Higgins, C. A., & Huff, S. (1999). Social Cognitive Theory and Individual Reactions to Computing Technology: A Longitudinal Study. *MIS Quarterly*, 23(2), 145. <https://doi.org/10.2307/249749>

Cortazar, B., Koydemir, H. C., Tseng, D., Feng, S., & Ozcan, A. (2015). Quantification of plant chlorophyll content using Google Glass. *Lab on a Chip*, 15(7), 1708-1716. <https://doi.org/10.1039/C4LC01279H>

Cunha, C. R., Peres, E., Morais, R., Oliveira, A. A., Matos, S. G., Fernandes, M. A., Ferreira, P. J. S. G., & Reis, M. J. C. S. (2010). The use of mobile devices with multi-tag technologies for an overall contextualized vineyard management. *Computers and Electronics in Agriculture*, 73(2), 154-164. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2010.05.007>

Daniellou, F. (2004). L'ergonomie dans la conduite de projets de conception de systèmes de travail. In P. Falzon, *Ergonomie* (p. 359-373). PUF.

Daniellou, F. (2006). « Je me demanderais ce que la société attend de nous? » À propos des positions épistémologiques d'Alain Wisner. *Travailler*, 15(1), 23-38. <https://doi.org/10.3917/trav.015.0023>

Daniellou, F. (2007). Des fonctions de la simulation des situations de travail en ergonomie. *Activites*, 04(2), 77-83. <https://doi.org/10.4000/activites.1696>

Daniellou, F., & Béguin, P. (2004). Méthodologie de l'action ergonomique : Approche du travail réel. In P. Falzon, *Ergonomie* (p. 335-358). PUF.

Daniellou, F., Escouteloup, J., & Beaujouan, J. (2011). Phasage des travaux et organisations transitoires : Quels rôles pour l'ergonome ? *Activites*, 08(1), 26-43. <https://doi.org/10.4000/activites.2503>

Darses, F. (2016). Activity analysis : Not what it was! *Le Travail Humain*, 79(3), 193. <https://doi.org/10.3917/th.793.0193>

Darses, F., Détienne, F., & Visser, W. (2001). Assister la conception : Perspectives pour la psychologie cognitive ergonomique. *Actes des Journées d'étude en Psychologie ergonomique*, 11-20.

Darses, F., & Reuzeau, F. (2004). Participation des utilisateurs à la conception des systèmes et dispositifs de travail. In P. Falzon, *Ergonomie* (p. 405-420). PUF.

Darses, F., & Wolff, M. (2006). How do designers represent to themselves the users' needs? *Applied Ergonomics*, 37(6), 757-764. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2005.11.004>

Davis, F. D. (1989). Perceived Usefulness, Perceived Ease of Use, and User Acceptance of Information Technology. *MIS Quarterly*, 13(3), 319-340. <https://doi.org/10.2307/249008>

Davy, A. (s.d). *Rappel sur le comportement des différents fongicides et impacts pratiques sur leur utilisation.*

De Benedittis, J., & Benhayoun-Sadafiyine, L. (2018). Viswanath Venkatesh – Différentes perspectives sur l'implémentation des technologies. In I. Walsh, M. Kalika, & C. Dominguez-Péry, *Les grands auteurs en systèmes d'information* (p. 127-147). EMS Editions. <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&scope=site&db=nlebk&db=nlabk&AN=1822887>

De Montmollin, M., & Amalberti, R. (1995). *Vocabulaire de l'ergonomie*. Octarès Éditions.

De Rudnicki, V., Ruelle, B., Douchin, M., & Sinfort, C. (2009). *Utilisation des NTIC pour optimiser les pratiques de pulvérisation et limiter la contamination de l'environnement*. 1-12.

Debbabi, K. (2014). *Les déterminants cognitifs et affectifs de l'acceptabilité des nouvelles technologies de l'information et la communication : Le cas des Progiciels de Gestion Intégrée* [Doctorat en Psychologie du Travail et Ergonomie]. Université Grenoble Alpes.

Debue, N., Hellemans, C., & Van de Leemput, C. (2013). Acceptabilité des sites web et ergonomie de l'interface : Étude de l'influence de l'utilisabilité objective et de la charge cognitive. *Journal of Human Mediated Interactions*, 14(2), 1-23.

Deconde, G. (2009). *Etude itérative des liens entre utilisabilité et acceptabilité d'un dispositif de saisie et de reconnaissance de l'écriture manuscrite* [Thèse de doctorat en psychologie expérimentale]. Rennes 2.

Dejean, P.-H., & Nael, M. (2004). Ergonomie du produit. In P. Falzon, *Ergonomie* (p. 463-477). PUF.

Deléage, E. (2011). Les mouvements agricoles alternatifs. *Informations sociales*, 2(164), 44-50.

DeLone, W. H., & McLean, E. R. (1992). Information Systems Success : The Quest for the Dependent Variable. *Information Systems Research*, 3(1), 60-95. <https://doi.org/10.1287/isre.3.1.60>

Desjeux, Y., Faure, G., Gasselin, P., & Rebuffel, P. (2009). *Synthèse bibliographique sur le conseil en agriculture* (p. 138) [Rapport de recherche]. SupAgro Montpellier, INRA, Cirad.

Diard, C. (2019). Acceptation ou refus de la vidéo-protection par les collaborateurs : Influence des facteurs de contingence lors de la mise en place de la vidéo-protection. *Recherches en Sciences de Gestion*, 130, 181-208. <https://doi.org/10.3917/resg.130.0181>

Dillon, A., & Morris, M. (1999). Power, Perception and Performance : From Usability Engineering to Technology Acceptance with the P3 Model of User Response. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 43(19), 1017-1021. <https://doi.org/10.1177/154193129904301901>

Diofantos, H. G., Panayiotis, P., Elias, P., Georgiou, G. K., & Kyriacos, T. (2010). A national system for monitoring the population of agricultural pests using an integrated approach of remote sensing data from in situ automated traps and satellite images. In C. M. U. Neale & A. Maltese (Éds.), *Proc. Of SPIE* (p. 9). <https://doi.org/10.1117/12.864933>

Dubois, M., & Bobillier-Chaumon, M.-É. (2009). L'acceptabilité des technologies : Bilans et nouvelles perspectives. *Le travail humain*, 72(4), 305-310. <https://doi.org/10.3917/th.724.0305>

Due, B. L. (2014). The future of smart glasses : An essay about challenges and possibilities with smart glasses. *CIRD Working Papers on Interaction and Communication*, 1(2), 1-21.

Duncan, J., & Humphreys, G. W. (1989). Visual search and stimulus similarity. *Psychological Review*, 96(3), 433.

Duthoit, E., & Mailles-Viard Metz, S. (2012). Analyse de l'appropriation d'un parcours pédagogique numérique par un formateur : Le cas du dispositif Pairform@nce. *Activites*, 09(1). <https://doi.org/10.4000/activites.203>

Eastwood, C., Trotter, M., & Scott, N. (2013). Understanding the user : Learning from on-farm application of precision farming technologies in the Australian livestock sector. *Australian Journal of Multi-Disciplinary Engineering*, 10(1), 12. <https://doi.org/10.7158/N12-AE04.2013.10.1>

Elder, S., & Vakaloudis, A. (2015). Towards uniformity for smart glasses devices : An assessment of function as the driver for standardisation. *2015 IEEE International Symposium on Technology and Society (ISTAS)*, 1-7. <https://doi.org/10.1109/ISTAS.2015.7439424>

Engeström, Y. (2000). Activity theory as a framework for analyzing and redesigning work. *Ergonomics*, 43(7), 960-974. <https://doi.org/10.1080/001401300409143>

Falzon, P. (1998). La construction des connaissances en ergonomie : Éléments d'épistémologie. In M.-F. Dessaigne & I. Gaillard, *Des évolutions en ergonomie* (p. 253). Octarès Éditions.

Falzon, P. (2004). Nature, objectifs et connaissances de l'ergonomie. In P. Falzon, *Ergonomie* (p. 17-37). PUF.

Falzon, P. (2005, septembre 21). *Ergonomie, conception et développement*. 40ème Congrès de la SELF, Saint-Denis, La Réunion.

Fernandez, D. N. (2010). L'attention visuelle sélective : Pertinence, saillance, résistance à l'interférence [Thèse de doctorat en psychologie]. Lumière Lyon 2.

Février, F. (2011). *Vers un modèle intégrateur" expérience-acceptation" : Rôle des affects et de caractéristiques personnelles et contextuelles dans la détermination des intentions d'usage d'un environnement numérique de travail* [Doctorat de Psychologie Cognitive, Rennes 2]. <https://hal.archives-ouvertes.fr/tel-00608335/>

Février, F., Jamet, E., & Rouxel, G. (2008). Quel outil d'évaluation de l'acceptabilité des nouvelles technologies pour des études francophones? *Proceedings of the 20th Conference on l'Interaction Homme-Machine*, 199–204. <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1512753>

Filippi, M., & Frey, O. (2015). *Le conseil dans les coopératives agricoles : Clés d'analyse, état des lieux et perspectives* (p. 84) [Rapport de recherche]. INRA.

Flett, R., Alpass, F., Humphries, S., Massey, C., Morriss, S., & Long, N. (2004). The technology acceptance model and use of technology in New Zealand dairy farming. *Agricultural Systems*, 80(2), 199-211. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2003.08.002>

Folcher, V. (2015). Conception pour et dans l'usage : La maîtrise d'usage en conduite de projet. *Revue des Interactions Humaines Médiatisées*, 16(1), 39-60.

Folcher, V., & Rabardel, P. (2004). Hommes, artefacts, activités : Perspective instrumentale. In P. Falzon, *Ergonomie* (p. 251-268). PUF.

Gaillard, I. (2014). Analyse de l'activité. In *Dictionnaire des risques psychosociaux* (p. 43-45). Seuil.

Galey, L. (2019). *Comprendre les situations d'exposition aux nanoparticules par l'intégration de l'activité de travail à la mesure : Vers une construction de la prévention* [Thèse de doctorat en ergonomie]. Université de Bordeaux.

Garrigou, A., Daniellou, F., Carballeda, G., & Ruaud, S. (1995). Activity analysis in participatory design and analysis of participatory design activity. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 15(5), 311-327. [https://doi.org/10.1016/0169-8141\(94\)00079-I](https://doi.org/10.1016/0169-8141(94)00079-I)

Garrigou, Alain, Baldi, I., & Dubuc, P. (2008). Apports de l'ergotoxicologie à l'évaluation de l'efficacité réelle des EPI devant protéger du risque phytosanitaire : De l'analyse de la contamination au processus collectif d'alerte. *Perspectives interdisciplinaires sur le travail et la santé*, 10-1. <https://doi.org/10.4000/pistes.2137>

Garrigou, Alain, Baldi, I., Mohammed-Brahim, B., Jackson, M., Ullilen Marcilla, C., Lefevre, L., & Pasquereau, P. (2012). L'usage des pesticides en France : Un transfert de technologie mal maîtrisé ? *Actes du 47ième Congrès de la SELF*, 33-40.

Garrigou, Alain, Peeters, S., Jackson, M., Sagory, P., & Carballeda, G. (2004). Apports de l'ergonomie à la prévention des risques professionnels. In P. Falzon, *Ergonomie* (p. 497-514). PUF.

Garrigou, Alain, Thibault, J.-F., Jackson, M., & Mascia, F. (2001). Contributions et démarche de l'ergonomie dans les processus de conception. *Perspectives interdisciplinaires sur le travail et la santé*, 3-2, 21. <https://doi.org/10.4000/pistes.3725>

Gil, E., Arnó, J., Llorens, J., Sanz, R., Llop, J., Rosell-Polo, J., Gallart, M., & Escolà, A. (2014). Advanced Technologies for the Improvement of Spray Application Techniques in Spanish Viticulture : An Overview. *Sensors*, 14(1), 691-708. <https://doi.org/10.3390/s140100691>

Gomez, P.-Y., & Chevalet, R. (2011). Impacts des technologies de l'information sur la santé au travail. Hypothèses et interprétations à partir d'une observation expérimentale. *Revue française de gestion*, 37(214), 107-125. <https://doi.org/10.3166/rfg.214.107-125>

Goodhue, D. L., & Thompson, R. L. (1995). Task-Technology Fit and individual performance. *MIS Quarterly*, 19, 213-236.

Govaere, V. (2002). *L'évolution du travail avec les nouvelles technologies de l'information et de la communication (NTIC). 1. Les NTIC : définitions et mode d'emploi*. (Rapport de recherche NS 221; p. 27). Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS).

Gramond, F. (2016, avril). *Perception de l'agro-écologie par les agriculteurs français. Evolution depuis un an*.

Greco, A. (1995). The concept of representation in psychology. *Cognitive Systems*, 4(2), 247-256.

Groleau, C., & Mayère, A. (2007). L'articulation technologies – organisations : Des pistes pour une approche communicationnelle. *Communication et organisation*, 31, 140-163. <https://doi.org/10.4000/communicationorganisation.176>

Grondin, N., Bastien, J. M. C., & Agopian, B. (2002). Les tests utilisateurs : Avantages et inconvénients des passations individuelles et par paires. *Proceedings of the 14th French-*

speaking conference on Human-computer interaction (Conf?rence Francophone sur l'Interaction Homme-Machine) - IHM '02, 121-128. <https://doi.org/10.1145/777005.777022>

Grosdemouge, L. (2017). *Comprendre le travail des professionnels des ressources humaines pour développer leur pouvoir d'agir : Le cas d'une intervention ergonomique dans un groupe de l'industrie chimique* [Thèse de doctorat en ergonomie]. Bordeaux.

Guillot, M.-N., Cerf, M., Petit, M.-S., Olry, P., & Omon, B. (2013). Développer la capacité des conseillers à agir face à la diversité des situations de conseil en grande culture. *Économie rurale*, 337, 59-74. <https://doi.org/10.4000/economierurale.4105>

Guillou, M., Guyomard, H., Huyghe, C., & Peyraud, J.-L. (2013). *Vers des agricultures doublement performantes pour concilier compétitivité et respect de l'environnement* (p. 163) [Rapport de recherche]. INRA-Agreenium.

Guizard, C. (2015). *Etat de l'art et perspectives pour les services numériques appliqués à la viticulture*. journée Qualimed, Narbonne.

Hammes-Adelé, S. (2011). *Traduction temporelle de la relation humain-technologie-organisation : Validation et perspectives autour de la symbiose* [Thèse de doctorat en psychologie, Metz]. <http://www.theses.fr/2011METZ003L>

Haradji, Y., & Faveaux, L. (2006). Évolution de notre pratique de conception (1985-2005) : Modéliser pour mieux coopérer à partir des critères d'utilité, d'utilisabilité.... *Activites*, 03(1), 67-98. <https://doi.org/10.4000/activites.1852>

Hein, D. W. E., Rauschnabel, P. A., Jodoin, J. L., & Ivens, B. S. (2017). Are wearable good or bad for society? In G. Kurubacak & H. Altinpulluk, *Mobile Technologies and Augmented Reality in Open Education* (p. 1-25). IGI Global. <https://doi.org/10.4018/978-1-5225-2110-5>

Hittinger, B. (2015). *Le travail collectif à travers les actions collectives, les processus de coordination et les manifestations de soutien social : Le cas de binômes d'opérateurs du*

transport routier de marchandises [Thèse de doctorat en ergonomie]. Université de Toulouse le Mirail.

Hostiou, N., Joly, N., Madelrieux, S., Servièrre, G., Cournut, S., & Dedieu, B. (2006). *Synthèse bibliographique « approches sur le travail en agriculture par les disciplines sociales et techniques »* (Recherche ANR-06-PADD-03-004 TRANS; p. 29).

Hulleman, J. (2020). Quantitative and qualitative differences in the top-down guiding attributes of visual search. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 46(9), 942-964. <https://doi.org/10.1037/xhp0000764>

Ibanescu, G. (2011). *Facteurs d'acceptation et d'utilisation des technologies d'information : Une étude empirique sur l'usage du logiciel " Rational Suite" par les employés d'une grande compagnie de services informatiques* (p. 129) [Mémoire maîtrise informatique de gestion]. Université du Québec à Montréal.

Isaac, H., Des Horts, C.-H. B., & Leclercq, A. (2006). Adoption and appropriation : Toward a new theoretical framework. An exploratory research on mobile technologies in french companies. <halshs-00155506>. <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00155506/>

Isaac, H., & Pouyat, M. (2015). *Les défis de l'agriculture connectée dans une société numérique*. (p. 106 pages) [Livre Blanc]. Renaissance Numérique, le think tank de la société numérique.

Jawadi, N. (2014). Facteurs-clés de l'adoption des systèmes d'information dans la grande distribution alimentaire : Une approche par l'UTAUT. *17ème Colloque de l'Association Information et Management (AIM)*, 21–22. https://www.ipag.fr/wp-content/uploads/recherche/WP/IPAG_WP_2014_199.pdf

Joly, N. (2011). L'écriture comme travail des éleveurs face aux exigences de traçabilité. In P. Béguin, B. Dedieu, & E. Sabourin, *Le travail en agriculture : Son organisation et ses valeurs face à l'innovation*. (p. 71-85). L'Harmattan.

Jouët, J. (2000). Retour critique sur la sociologie des usages. *Réseaux*, 18(100), 487-521. <https://doi.org/10.3406/reso.2000.2235>

Jourdan, M. (1990). *Développement technique dans l'exploitation agricole et compétence de l'agriculteur* [Thèse de doctorat en ergonomie]. Conservatoire National des Arts et Métiers.

Jouzel, J.-N., & Dedieu, F. (2012). L'ergotoxicologie est-elle soluble dans les politiques de prévention du risque chimique professionnel? *Innovation et Travail, sens et valeurs du changement*, 9.

Judon, N. (2017). *Rendre possible un espace intermédiaire de dialogue pour coconstruire de nouvelles solutions de prévention dans un contexte d'incertitude : Cas des travaux de revêtements routiers* [Thèse de doctorat en ergonomie]. Université de Bordeaux.

Khademi, K. (2016). *Les processus cognitifs dans les activités d'ordonnancement en environnement incertain* [Thèse de doctorat en ergonomie]. Université Toulouse II Jean Jaurès.

Kim, S., Nussbaum, M. A., & Gabbard, J. L. (2019). Influences of augmented reality head-worn display type and user interface design on performance and usability in simulated warehouse order picking. *Applied Ergonomics*, 74, 186-193. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2018.08.026>

King, W. R., & He, J. (2006). A meta-analysis of the technology acceptance model. *Information & Management*, 43(6), 740-755. <https://doi.org/10.1016/j.im.2006.05.003>

Klein, T., & Govaere, V. (2012). *Chapitre 8 : Impacts des TIC sur le bien-être et la santé au travail* (N° 49; p. 207-237). Centre d'analyse stratégique, Direction Générale du Travail.

Knight, J. F., Baber, C., Schwirtz, A., & Bristow, H. W. (2002). The comfort assessment of wearable computers. *Proceedings. Sixth International Symposium on Wearable Computers*, 65-72. <https://doi.org/10.1109/ISWC.2002.1167220>

Krishnan, K., Zayed, J., Bellazzi, C., Jolly, C., Hébert, F., & Bouchard, M. (2019). *La santé et la sécurité du travail en milieu agricole* (p. 31) [Mémoire déposé à la Commission de l'agriculture, des pêcheries, de l'énergie et des ressources naturelles le 25 juillet 2019]. Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail - Institut de recherche en santé publique de l'Université de Montréal.

Kukafka, R., Johnson, S. B., Linfante, A., & Allegrante, J. P. (2003). Grounding a new information technology implementation framework in behavioral science: A systematic analysis of the literature on IT use. *Journal of Biomedical Informatics*, 36(3), 218-227. <https://doi.org/10.1016/j.jbi.2003.09.002>

Labarthe, P., Gallouj, F., & Laurent, C. (2013). Privatisation du conseil et évolution de la qualité des preuves disponibles pour les agriculteurs. *Économie rurale*, 337, 7-24. <https://doi.org/10.4000/economierurale.4074>

Lafeuillade, A.-C., & Nascimento, A. (2018). L'activité d'arboriste-élagueur en milieu urbain : La sécurité en action comme structurante pour le travail dans les arbres. *Perspectives interdisciplinaires sur le travail et la santé*, 20(2), 1-21. <https://doi.org/10.4000/pistes.6039>

Lallemand, C., Koenig, V., Gronier, G., & Martin, R. (2015). Création et validation d'une version française du questionnaire AttrakDiff pour l'évaluation de l'expérience utilisateur des systèmes interactifs. *Revue Européenne de Psychologie Appliquée/European Review of Applied Psychology*, 65(5), 239-252. <https://doi.org/10.1016/j.erap.2015.08.002>

Lamb, D. W., Frazier, P., & Adams, P. (2008). Improving pathways to adoption : Putting the right P's in precision agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, 61(1), 4-9. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2007.04.009>

Landry, A. (2008). *L'évaluation de l'intervention ergonomique : De la recherche évaluative à la proposition d'outils pour la pratique* [Doctorat Ergonomie]. Victor Segalen.

Landry, A., & Feillou, I. (2008). Positionner l'ergonomie dans la conception : Exemple dans la grande distribution. *Perspectives interdisciplinaires sur le travail et la santé*, 10(2), 20. <https://doi.org/10.4000/pistes.2233>

Laneyrie, E. (2015). *Mobilisation des acteurs dans une démarche de prévention des troubles musculo-squelettiques et psycho-sociaux : Un enjeu d'efficacité de l'intervention ergonomique : Le cas du secteur hospitalier* [Thèse de doctorat en psychologie du travail et ergonomie]. Université Grenoble Alpes.

Larbaigt, J., Gaillard, I., & Lemercier, C. (2020). Prendre en compte l'adoption technologique dès le stade de la conception : Le cas d'un projet en viticulture. *Perspectives interdisciplinaires sur le travail et la santé*, 22(1), 1-21. <https://doi.org/10.4000/pistes.6442>

Lassalle, J., Amelot, A., Chauvin, C., & Boutet-Diéye, A. (2016). De l'artefact à la naissance de l'instrument pour la maîtrise de la consommation d'électricité : Approche ergo-sociologique de la genèse instrumentale des smart-grids. *Activites*, 13(2). <https://doi.org/10.4000/activites.2875>

Laugwitz, B., Held, T., & Schrepp, M. (2008). Construction and Evaluation of a User Experience Questionnaire. *HCI and Usability for Education and Work*, 1, 63-76. https://doi.org/10.1007/978-3-540-89350-9_6

Lecoester, A., Gaillard, I., Forrierre, J., & Six, F. (2018). Les compétences pour négocier l'organisation du travail : Le cas d'un projet industriel d'automatisation. *Activites*, 15-2. <https://doi.org/10.4000/activites.3290>

Legris, P., Ingham, J., & Collerette, P. (2003). Why do people use information technology? A critical review of the technology acceptance model. *Information & management*, 40(3), 191–204.

Lemercier, C., & Cellier, J.-M. (2008). Les défauts de l'attention en conduite automobile : Inattention, distraction et interférence. *Le travail humain*, 71(3), 271. <https://doi.org/10.3917/th.713.0271>

Lemercier, C., Tardieu, J., Gaillard, P., & Paubel, P.-V. (2016). Regarder sans voir : Impact de conversations téléphoniques courtes sur l'attention visuelle en conduite simulée. *Recherche Transports Sécurité*, 2016(1-2), 59-65. <https://doi.org/10.4074/S0761898016002053>

Léméry, B. (2003). Les agriculteurs dans la fabrique d'une nouvelle agriculture. *Sociologie du travail*, 9-25.

Léméry, B. (2011). Les agriculteurs : Une profession en travail. In P. Béguin, B. Dedieu, & E. Sabourin, *Le travail en agriculture : Son organisation et ses valeurs face à l'innovation*. (p. 243-255). L'Harmattan.

Leplat. (1978). L'équivalence des situations de laboratoire et de terrain. *Le Travail Humain*, 41(2), 307-318.

Leplat, J. (2002). De l'étude de cas à l'analyse de l'activité. *Perspectives interdisciplinaires sur le travail et la santé*, 4(2), 1-33. <https://doi.org/10.4000/pistes.3658>

Licklider, J. C. (1960). Man-computer symbiosis. *IRE Transactions on Human Factors in Electronics*, 1, 4-11.

Lindsey, D. T., Brown, A. M., Reijnen, E., Rich, A. N., Kuzmova, Y. I., & Wolfe, J. M. (2010). Color Channels, Not Color Appearance or Color Categories, Guide Visual Search for Desaturated Color Targets. *Psychological Science*, 21(9), 1208-1214. <https://doi.org/10.1177/0956797610379861>

Loup-Escande, E. (2010). *Vers une conception centrée sur l'utilité : Une analyse de la co-construction participative et continue des besoins dans le contexte des technologies émergentes* [Thèse de doctorat en sciences de l'ingénieur, Université d'Angers]. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00742444/>

Loup-Escande, E., Jamet, E., Ragot, M., Erhel, S., Michinov, N., Peltier, C., & Lopez, T. (2015). Concevoir des environnements virtuels éducatifs avec les utilisateurs finaux : Exemple du projet VirtualiTeach. *Terminal [Online]*, 1-20. <https://doi.org/10.4000/terminal.1093>

Lund, A. M. (2001). Measuring Usability with the USE Questionnaire. *Usability Interface*, 8(2), 3–6.

Martin, N. P. Y. (2018). *Acceptabilité, acceptation et expérience utilisateur : Évaluation et modélisation des facteurs d'adoption des produits technologiques* [Thèse de doctorat en psychologie]. Rennes 2.

Matese, A., Di Gennaro, S. F., & Berton, A. (2016). Assessment of a canopy height model (CHM) in a vineyard using UAV-based multispectral imaging. *International Journal of Remote Sensing*, 1-11. <https://doi.org/10.1080/01431161.2016.1226002>

McNaney, R., Vines, J., Roggen, D., Balaam, M., Zhang, P., Poliakov, I., & Olivier, P. (2014). Exploring the acceptability of google glass as an everyday assistive device for people with parkinson's. *Proceedings of the 32nd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI '14*, 2551-2554. <https://doi.org/10.1145/2556288.2557092>

Métral, R., Lafond, D., Gary, C., Mérot, A., Metay, A., & Wéry, J. (2012). Comment concevoir et expérimenter des systèmes viticoles innovants à bas niveaux d'intrants phytosanitaires. *Progrès Agricole et Viticole*, 129(18), 392-431.

Mezière, D., & Gary, C. (2009). *Ecophyto R&D. Vers des systèmes de culture économes en produits phytosanitaires. Tome III : analyse comparative de différents systèmes en viticulture.* (p. 84) [Rapport de recherche]. INRA.

Mohammed-Brahim, B., & Garrigou, A. (2009). Une approche critique du modèle dominant de prévention du risque chimique : L'apport de l'ergotoxicologie. *Activites*, 06(1). <https://doi.org/10.4000/activites.2086>

Molenje, M. L. (2019). *Teacher perception in computer assisted instruction, adoption for education support in public secondary schools in Kenya* [Thèse de doctorat en sciences de l'information et de la communication]. Moi.

Moore, G. C., & Benbasat, I. (1991). Development of an instrument to measure the perceptions of adopting an information technology innovation. *Information systems research*, 2(3), 192–222.

Moreiro, L. (2017). Appropriation de technologies et développement durable : L'exemple de la viticulture de précision. *Innovations*, 3(54), 97-122. <https://doi.org/10.3917/inno.054.0097>

Motti, V. G., & Caine, K. (2014). Human Factors Considerations in the Design of Wearable Devices. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 58(1), 1820-1824. <https://doi.org/10.1177/1541931214581381>

Muensterer, O. J., Lacher, M., Zoeller, C., Bronstein, M., & Kübler, J. (2014). Google Glass in pediatric surgery: An exploratory study. *International Journal of Surgery*, 12(4), 281-289. <https://doi.org/10.1016/j.ijisu.2014.02.003>

Muzari. (2016). Factors Influencing the Adoption and Utilization of Selected Agricultural Technologies by Cotton Farmers in Zimbabwe. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 5(1), 1874-1877.

Neider, M. B., & Zelinsky, G. J. (2006). Scene context guides eye movements during visual search. *Vision Research*, 46(5), 614-621. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2005.08.025>

Nicourt, C. (2016). Les mobilisations des victimes de pesticides ont-elles modifié les pratiques des viticulteurs languedociens? [VertigO] *La revue électronique en sciences de l'environnement*, 16(1), 1-22.

Nielsen, J. (1993). *Usability Engineering*. Morgan Kaufmann.

Nielsen, J. (1994). Enhancing the explanatory power of usability heuristics. *Celebrating interdependence*, 152-158.

Niemöller, C., Metzger, D., Fellmann, M., Özcan, D., & Thomas, O. (2016). Shaping the Future of Mobile Service Support Systems – Ex-Ante Evaluation of Smart Glasses in Technical Customer Service Processes. In H. C. Mayr & M. Pinzger (Éds.), *Lecture Notes in Informatics (LNI)—Proceedings, Volume P-259* (p. 753-767). Gesellschaft für Informatik e.V.

Nocum, D. J., Brennan, P. C., Huang, R. T., & Reed, W. M. (2013). The effect of abnormality-prevalence expectation on naïve observer performance and visual search. *Radiography*, 19(3), 196-199. <https://doi.org/10.1016/j.radi.2013.04.004>

Norros, L., & Savioja, P. (2007). Vers une théorie et une méthode d'évaluation de l'utilisabilité des systèmes complexes homme-technologie. *Activites*, 04(2). <https://doi.org/10.4000/activites.1738>

Noy, C., & Ruiz, J. (2007). Vers une conception globalisée des systèmes d'information intégrant tous leurs usages. *La Revue des Sciences de Gestion*, 223(1), 87. <https://doi.org/10.3917/rsg.223.0087>

Nyssen, A.-S., & De Keyser, V. (1998). Improving training in problem solving skills : Analysis of anesthetists' performance in simulated problem situations. *Le Travail Humain*, 61(4), 387-401.

Oliveira, P. C., Moura, J. P., Fernandes, L. F., Amaral, E. M., & Oliveira, A. A. (2016). A non-destructive method based on digital image processing for calculate the vigor and the vegetative expression of vines. *Computers and Electronics in Agriculture*, 124, 289-294. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2016.04.020>

Oliver, R. L. (1980). A Cognitive Model of the Antecedents and Consequences of Satisfaction Decisions. *Journal of Marketing Research*, 17(4), 460. <https://doi.org/10.2307/3150499>

Pasquier, H. M. L. (2012). *Définir l'acceptabilité sociale dans les modèles d'usage : Vers l'introduction de la valeur sociale dans la prédiction du comportement d'utilisation* [Thèse de doctorat en psychologie sociale]. Rennes 2.

Patel, G. A., & Sathian, K. (2000). Visual search : Bottom-up or top-down. *Frontiers in Bioscience*, 5, 169–193.

Perez, Y.-A. (2008). La pratique de la recherche-intervention dans les organisations : Retour sur les modes de production des connaissances gestionnaires à partir du terrain. *Humanisme et Entreprise*, 288(3), 101-113. <https://doi.org/10.3917/hume.288.0101>

Perret, V. (2018). *Elaboration et validation de critères ergonomiques pour les Interactions Homme Système Simplexe* [Thèse de doctorat en ergonomie]. Université Toulouse II Jean Jaurès.

Perret, V., Calvet, G., Chevalier, A., & Bach, C. (2017). Critères ergonomiques pour les Interactions Homme Système Simplexe support à la classification de problèmes ergonomiques.pdf. *Actes du 52ième Congrès de la SELF*, 443-447.

Petit, J., Querelle, L., & Daniellou, F. (2007). Quelles données pour la recherche sur la pratique de l'ergonome ? *Le travail humain*, 70(4), 391-411. <https://doi.org/10.3917/th.704.0391>

Petit-Delecourt, E. (2018). *Prise en compte du travail dans les changements de pratiques vers l'agroécologie : Outils et informations pour l'accompagnement des agriculteurs* [Thèse de doctorat en sciences agronomiques]. Université de Paris-Saclay.

Petter, S., DeLone, W., & McLean, E. (2008). Measuring information systems success : Models, dimensions, measures, and interrelationships. *European Journal of Information Systems*, 17(3), 236-263. <https://doi.org/10.1057/ejis.2008.15>

Poley, Y. (2015). *Accompagnement ergonomique de l'activité des représentants du personnel des CHSCT. Interventions ergonomiques sur les CHSCT de la SNCF* [Thèse de doctorat en ergonomie]. Université de Bordeaux.

Poupon, Lenaïc. (2017). *L'acceptation de la voiture électrique : Étude d'un processus, de l'acceptabilité à l'acceptation située* [Thèse de doctorat en psychologie]. Lumière Lyon 2.

Poupon, Lénaïc, Philipps-Bertin, C., Bobillier-Chaumon, M.-É., & Kalampalikis, N. (2017). L'acceptation de la voiture électrique : Un agent transformateur des pratiques socio-domestiques. *Activites*, 14(2), 1-32. <https://doi.org/10.4000/activites.3044>

Primicerio, J., Di Gennaro, S. F., Fiorillo, E., Genesio, L., Lugato, E., Matese, A., & Vaccari, F. P. (2012). A flexible unmanned aerial vehicle for precision agriculture. *Precision Agriculture*, 13(4), 517-523. <https://doi.org/10.1007/s11119-012-9257-6>

Proffitt, T., & Winter, E. (2008, décembre). Adoption of Precision Viticulture on the rise. *The Australian & New Zealand Grapegrower & Winemaker*, 539, 36-38.

Proulx, S. (2005). Penser les usages des technologies de l'information et de la communication aujourd'hui : Enjeux–modèles–tendances. In L. Vieira & N. Pinède, *Enjeux et usages des TIC : aspects sociaux et culturels, Tome 1* (Vol. 1, p. 7–20). Presses universitaires de Bordeaux. <https://www.marsouin.org/IMG/pdf/Usages-Proulx2-2005.pdf>

Quiguer, S. (2013). *Acceptabilité, acceptation et appropriation des Systèmes de Transport Intelligents : Elaboration d'un canevas de co-conception multidimensionnelle orientée par l'activité* [Doctorat de Psychologie Sociale]. Rennes 2.

Rabardel, P. (1995). *Les hommes et les technologies : Approche cognitive des instruments contemporains*. Armand Colin. <https://hal.archives-ouvertes.fr/01017462>

Ratten, V., & Ratten, H. (2007). Social cognitive theory in technological innovations. *European Journal of Innovation Management*, 10(1), 90-108. <https://doi.org/10.1108/14601060710720564>

Reerink-Boulangier, J. (2012). *Services technologiques intégrés dans l'habitat des personnes âgées : Examen des déterminants individuels, sociaux et organisationnels de leur acceptabilité* [Doctorat de Psychologie Sociale et Ergonomique]. Rennes 2.

Règlement (CE) N° 834/2007 relatif à la production biologique et à l'étiquetage des produits biologiques, n° N° 834/2007, Conseil de l'Union Européenne (2007).

Rellier, J.-P., Martin-Clouaire, R., Ciadella, N., Jeuffroy, M.-H., & Meynard, J.-M. (2011). Modélisation de l'organisation du travail en systèmes de grande culture : Méthode et application à l'évaluation ex ante d'innovations variétales de pois. In P. Béguin, B. Dedieu, & E. Sabourin, *Le travail en agriculture : Son organisation et ses valeurs face à l'innovation*. (p. 205-225). L'Harmattan.

Reuzeau, F. (2001). Finding the best users to involve in design : A rational approach. *Le Travail Humain*, 64(3), 223-245. <https://doi.org/10.3917/th.643.0223>

Robin, D. (2012). *Titre : Usages et bénéfices de la 3D en maintenance aéronautique* [Thèse de doctorat en ergonomie]. Université Toulouse II le Mirail.

Rogers, E. M. (1983). *Diffusion of innovations* (3rd ed). Free Press.

Romare, C., Hass, U., & Skär, L. (2018). Healthcare professionals' views of smart glasses in intensive care : A qualitative study. *Intensive and Critical Care Nursing*, 45, 66-71. <https://doi.org/10.1016/j.iccn.2017.11.006>

Rossi, V., Salinari, F., Poni, S., Caffi, T., & Bettati, T. (2014). Addressing the implementation problem in agricultural decision support systems : The example of vite.net®. *Computers and Electronics in Agriculture*, 100, 88-99. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2013.10.011>

Roussy, C., Ribier, A., & Chaib, K. (2015). *Adoption d'innovations par les agriculteurs : Rôle des perceptions et des préférences* (Rapport de recherche 1 5-03; p. 37). INRA.

Sagnier, C., Loup-Escande, É., & Valléry, G. (2019). Acceptabilité de la réalité virtuelle : Une revue de la littérature. *Le travail humain*, 82(3), 183. <https://doi.org/10.3917/th.823.0183>

Sagnier, C., Loup-Escande, E., & Valléry, G. (2017). Etude de l'acceptabilité de la réalité virtuelle et de la réalité augmentée dans l'industrie aéronautique vers un nouveau cadre théorique et méthodologique. *Actes du 52ième Congrès de la SELF*, 49-52.

Schall, M. C., Sesek, R. F., & Cavuoto, L. A. (2018). Barriers to the Adoption of Wearable Sensors in the Workplace : A Survey of Occupational Safety and Health Professionals. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 60(3), 351-362. <https://doi.org/10.1177/0018720817753907>

Schaller. (2013). L'agroécologie : Des définitions variées, des principes communs. *Centre d'Etudes et de Prospective*, 59, 4.

Seidl-Rathkopf, K. N., Turk-Browne, N. B., & Kastner, S. (2015). Automatic guidance of attention during real-world visual search. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 77(6), 1881-1895. <https://doi.org/10.3758/s13414-015-0903-8>

Simonovici, M. (2019). *Enquête Pratiques phytosanitaires en viticulture en 2016* (N° 2019-2; Agreste, les dossiers, p. 50). Agreste.

Syberfeldt, A., Danielsson, O., & Gustavsson, P. (2017). Augmented Reality Smart Glasses in the Smart Factory : Product Evaluation Guidelines and Review of Available Products. *IEEE Access*, 5, 9118-9130. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2017.2703952>

Temple, L., Bakry, F., & Marie, P. (2011). Innovations sociales pour éliminer les pesticides dans les bananeraies : Les conditions de mobilisation du travail. In P. Béguin, B. Dedieu, & E. Sabourin, *Le travail en agriculture : Son organisation et ses valeurs face à l'innovation*. (p. 115-141). L'Harmattan.

Terrade, F., Pasquier, H., Reerinck-Boulanger, J., Guingouain, G., & Somat, A. (2009). L'acceptabilité sociale : La prise en compte des déterminants sociaux dans l'analyse de

l'acceptabilité des systèmes technologiques. *Le travail humain*, 72(4), 383.
<https://doi.org/10.3917/th.724.0383>

Tey, Y. S., & Brindal, M. (2012). Factors influencing the adoption of precision agricultural technologies: A review for policy implications. *Precision Agriculture*, 13(6), 713-730.
<https://doi.org/10.1007/s11119-012-9273-6>

Thery, L., Effantin, E., Vanderghote, M., Mercieca, P., Barrata, Galey, L., Goutille, F., & Rambaud, C. (2015). *Une approche pluridisciplinaire du processus de construction sociale du risque CMR*. (p. 109). CESTP--ARACT / ANACT.

Thiéry, D. (2006). *Vers de la grappe: Les connaître pour s'en protéger* (Vigne et Vin International Bordeaux Série Guides pratiques. Série Guides Pratiques).

Tisseyre, B. (2014). *Viticulture de précision: Principe et états de lieux*. Séminaire Viticulture de précision.

Tisseyre, B., Ojeda, H., & Taylor, J. (2007). New technologies and methodologies for site-specific viticulture. *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin*, 41(2), 63-76.

Treisman, A. M., & Gelade, G. (1980). A feature-integration theory of attention. *Cognitive Psychology*, 12(1), 97-136. [https://doi.org/10.1016/0010-0285\(80\)90005-5](https://doi.org/10.1016/0010-0285(80)90005-5)

Tricot, A., & Plé gat-Soutjis, F. (2003). Pour une approche ergonomique de la conception d'un dispositif de formation à distance utilisant les TIC. *Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Éducation et la Formation*, 10, 27 pages.

Tricot, A., Plé gat-Soutjis, F., Camps, J.-F., Amiel, A., Lutz, G., & Morcillo, A. (2003). *Utilité, utilisabilité, acceptabilité: Interpréter les relations entre trois dimensions de l'évaluation des EIAH*. 391-402. <http://archiveseiah.univ-lemans.fr/EIAH2003/>>

Vainstein, N., Kuflik, T., & Lanir, J. (2016). *Towards Using Mobile, Head-Worn Displays in Cultural Heritage: User Requirements and a Research Agenda*. 327-331. <https://doi.org/10.1145/2856767.2856802>

Valdivieso Larrain, F. (2012). *Dynamiques sociales et changement de pratiques viticoles : Échanges professionnels, don et identités. Le cas des viticulteurs de deux communes dans l'Hérault*. [Doctorat en Sociologie]. Université Paris-Dauphine.

Van Belleghem, L. (2018). La simulation de l'activité en conception ergonomique : Acquis et perspectives. *Activites*, 15(1), 1-22. <https://doi.org/10.4000/activites.3129>

Van Belleghem, L. (2017). Faut-il repenser le « schéma à 5 carrés » pour analyser le travail contemporain? *Présent et futur de l'ergonomie – Répondre aux défis actuels*, 10. https://www.researchgate.net/publication/318724947_Faut-il_repenser_le_schema_a_5_carres_pour_analyser_le_travail_contemporain

Van den Ban, A. W. (1998). Supporting farmers, decision making by agricultural extension. *Journal of Extension Systems*, 14, 55–67.

Venkatesh, V., & Bala, H. (2008). Technology Acceptance Model 3 and a Research Agenda on Interventions. *Decision Sciences*, 39(2), 273-315. <https://doi.org/10.1111/j.1540-5915.2008.00192.x>

Venkatesh, V., Morris, M. G., Davis, G. B., & Davis, F. D. (2003). User Acceptance of Information Technology : Toward a Unified View. *MIS Quarterly*, 27(3), 425-478.

Vermersch, P. (2010). *L'entretien d'explicitation*. ESF éditeur.

Veyrat, N. (2008). *Les usages dans la lunette. Co-concevoir des produits et des usages innovants* [Thèse de doctorat en sociologie industrielle, Université Pierre Mendès-France-Grenoble II]. <https://halshs.archives-ouvertes.fr/tel-00256212/>

Villemaine, R. (2013). Le conseil agricole des chambres d'agriculture et des coopératives : Entre convergence et différenciation. *Pour*, 219(3), 67. <https://doi.org/10.3917/pour.219.0067>

Visser, W. (2009). La conception : De la résolution de problèmes à la construction de représentations. *Le travail humain*, 72(1), 61. <https://doi.org/10.3917/th.721.0061>

Vyas, R., & Bajpai, N. (2016). Ergonomics in agriculture : An approach to quality life of farm communities. *Current Advances in Agricultural Sciences(An International Journal)*, 8(1), 92-95. <https://doi.org/10.5958/2394-4471.2016.00019.8>

Walsh, I., Kalika, M., & Dominguez-Péry, C. (2018). Introduction générale. Une cartographie du champ des systèmes d'information. In *Les grands auteurs en systèmes d'information* (p. 7-18). EMS Editions. <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&scope=site&db=nlebk&db=nlabk&AN=1822887>

Wang, C.-H., Tsai, N.-H., Lu, J.-M., & Wang, M.-J. J. (2019). Usability evaluation of an instructional application based on Google Glass for mobile phone disassembly tasks. *Applied Ergonomics*, 77, 58-69. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2019.01.007>

Williet, J., & Brangier, É. (2007). Approche basée sur l'acceptabilité future de la définition et de la conception d'un assistant émotionnel : Quand ergonomie et marketing conjuguent leurs talents. *Ergonomie des produits et des services*, 3-12. https://www.researchgate.net/profile/Eric_Brangier/publication/304254150_Approche_basee_sur_l'acceptabilite_future_de_la_definition_et_de_la_conception_d'un_assistant_emotionnel_quand_ergonomie_et_marketing_conjuguent_leurs_talents/links/576b07aa08aef2a864d20db6.pdf

Wixom, B. H., & Todd, P. A. (2005). A theoretical integration of user satisfaction and technology acceptance. *Information Systems Research*, 16(1), 85-102. <https://doi.org/10.1287/isre.1050.0042>

Wolfe. (1994). Guided Search 2.0 A revised model of visual search. *Psychonomic Bulletin & Review*, 1(2), 202-238.

Wolfe, J. M. (2007). Guided Search 4.0 : Current Progress With a Model of Visual Search. In Wayne. D. Gray, *Integrated Models of Cognitive Systems* (p. 99-120). OUP USA.

Wolfe, J. M., Butcher, S. J., Lee, C., & Hyle, M. (2003). Changing your mind : On the contributions of top-down and bottom-up guidance in visual search for feature singletons. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 29(2), 483-502. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.29.2.483>

Wolfe, J. M., Cave, K. R., & Franzel, S. L. (1989). Guided Search : An Alternative to the Feature Integration Model for Visual Search. *Journal of Experimental Psychology : Human Perception and Performance*, 15(3), 15.

Wolfe, J. M., & Horowitz, T. S. (2017). Five factors that guide attention in visual search. *Nature Human Behaviour*, 1(3), 0058. <https://doi.org/10.1038/s41562-017-0058>

Yu, M., Zhou, R., Wang, H., & Zhao, W. (2019). An evaluation for VR glasses system user experience : The influence factors of interactive operation and motion sickness. *Applied Ergonomics*, 74, 206-213. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2018.08.012>

Zain, M., Rose, R. C., Abdullah, I., & Masrom, M. (2005). The relationship between information technology acceptance and organizational agility in Malaysia. *Information & Management*, 42(6), 829-839. <https://doi.org/10.1016/j.im.2004.09.001>

ANNEXES

Annexe 1 : Description des partenaires du projet VitiOptimum

Coopérative agricole

Le porteur de projet est une Société Coopérative Agricole forte de 2700 adhérents pour un chiffre d'affaires de 120 millions d'euros. Créée en 1992, la coopérative est basée dans le Tarn-et-Garonne. Elle exerce ses missions d'approvisionnement et de collecte (sur un ensemble de productions ne comprenant pas les produits de la viticulture) dans ce département et les départements voisins. Au sein du projet, elle est principalement représentée par le gestionnaire de projet et le conseiller agricole spécialisé en viticulture.

Entreprise A

Créée en 1983, cette entreprise est spécialisée dans le développement informatique agricole. Elle compte 1550 salariés à travers une dizaine de pays, pour un chiffre d'affaires de 160 millions d'euros. Son siège se situe dans les Hauts-de-France. Dans le projet VitiOptimum, son rôle est la conception de l'application mobile pour conseiller. Deux concepteurs de la société A sont impliqués dans le projet.

Entreprise B

Cette entreprise, spécialiste de l'Internet des objets, de la conception de matériel et logiciel embarqué, a été créée en 2007. Son siège se situe en Haute-Garonne. L'entreprise B est en charge de la conception du piège connecté dans le projet VitiOptimum. Elle fait intervenir un ingénieur, gérant de l'entreprise.

Entreprise C

Société de géomatique, créée en 1989 en Occitanie, l'entreprise C est spécialiste des Systèmes d'Information Géographique (SIG). Cette entreprise se base sur l'Open Source pour développer et déployer des portails cartographiques en tant qu'outils d'aide à la décision. Sa mission dans le projet VitiOptimum est de concevoir le SIG pour le conseiller et les viticulteurs. L'entreprise C est représentée par un chef de projet.

Ecole d'ingénieurs de Purpan

Cette école, créée en 1919, dispense des formations d'ingénieurs généralistes et mène des missions de recherches. Implantée en Occitanie, son rôle est de développer l'outil d'analyse végétale. Elle est représentée par une équipe de recherche de 3 personnes.

Institut Français de la Vigne et du Vin (IFV)

Cet institut de recherche s'apparente à un centre technique régi par le Code de la Recherche. Il conduit des études de portée générale sur la filière viti-vinicole. En charge du maillage météo, l'institut mobilise 3 personnes dans le projet VitiOptimum.

Laboratoire CLLE LTC

Le laboratoire Cognition, Langue, Langage, Ergonomie (équipe Travail et Cognition) est une unité mixte de recherche spécialisée en sciences du langage, psychologie cognitive et ergonomie. Deux ergonomes interviennent dans le projet VitiOptimum, pour accompagner la conception sur le volet de l'utilité, de l'utilisabilité et de l'acceptabilité des outils envisagés.

Annexe 2 : définitions des critères ergonomiques

A. Heuristiques de Nielsen (1994)

- Visibilité du statut du système

Le système devrait toujours maintenir l'utilisateur informé sur son parcours à travers l'environnement numérique. Ce principe compte 12 heuristiques (ex : avoir un retour d'information pour maintenir l'utilisateur informé sur ce que le système fait, montrer que l'entrée de l'utilisateur a été reçue, fournir un retour d'information précis et au moment opportun).

- Correspondance entre le système et le monde réel

Le système devrait « parler » la langue des utilisateurs de telle façon que les informations apparaissent dans un ordre naturel et logique, en se conformant aux mots, expressions et conventions usuels. 12 heuristiques sont englobés dans ce principe (ex : le système contient des mots familiers et du langage naturel).

- Le contrôle de l'utilisateur et liberté

Le système devrait « obéir » à l'utilisateur et être personnalisable. Ce principe comporte 9 heuristiques tels que la présence de fonctions « annuler » et « refaire » ou la possibilité de rendre les actions réversibles.

- Cohérence et norme

Le système doit présenter une cohérence interne, en accord avec la norme. Par exemple, des fonctionnalités identiques doivent avoir la même apparence. Ce principe renferme 8 heuristiques.

- Prévention des erreurs

Le système devrait prévoir les erreurs que l'utilisateur peut commettre, l'informer avec des messages d'erreurs pertinents et le guider dans la correction avec des instructions compréhensibles. 6 heuristiques sont intégrées dans ce principe.

- Reconnaissance plutôt que rappel

Le système devrait favoriser la reconnaissance des informations d'une partie à une autre du dialogue homme/machine. 14 heuristiques expriment ce principe, par exemple « rendre saillant le répertoire des actions possibles ».

- Flexibilité et efficacité de l'utilisation

B. Critères ergonomiques de Bastien et Scapin (1993)

- Le critère guidage est « l'ensemble des moyens mis en œuvre pour conseiller, orienter, informer et conduire l'utilisateur lors de ces interactions avec l'ordinateur (messages, alarmes, label etc.) y compris dans ses aspects lexicaux » (Bastien & Scapin, 1993, p43).
- Le critère charge de travail concerne « l'ensemble des éléments de l'interface qui ont un rôle dans la réduction de la charge perceptuelle ou mnésique des utilisateurs et dans l'augmentation de l'efficacité du dialogue » (Bastien & Scapin, 1993, p55).
- Le critère contrôle explicite « concerne à la fois la prise en compte par le système des actions explicites des utilisateurs et le contrôle qu'ont les utilisateurs sur le traitement de leurs actions » (Bastien & Scapin, 1993, p62).
- Le critère adaptabilité « concerne sa capacité à réagir selon le contexte, et selon les besoins et préférences des utilisateurs » (Bastien & Scapin, 1993, p65).
- Le critère gestion des erreurs « concerne tous les moyens permettant d'une part d'éviter ou de réduire les erreurs, et d'autre part de les corriger lorsqu'elles surviennent. Les erreurs sont ici considérées comme des saisies de données incorrecte, des saisies dans des formats inadéquats, des saisies de commande avec une synthèse incorrecte etc. » (Bastien & Scapin, 1993, p70).
- Le critère homogénéité/cohérence « se réfère à la façon avec laquelle les choix de conception de l'interface (codes, dénominations, formats, procédures, etc.) sont conservés pour des contextes identiques, et sont différents pour des contextes différents » (Bastien & Scapin, 1993, p74).
- Le critère signifiante des codes & dénominations « concerne l'adéquation l'objet ou l'information affichée ou entrée, et son référent. Des codes et des dénominations « signifiants » disposent d'une relation sémantique forte avec leur référent ». (Bastien & Scapin, 1993, p75).
- Le critère compatibilité « se réfère à l'accord pouvant exister entre les caractéristiques des utilisateurs (mémoire, perceptions, habitudes, compétences, âge, attentes, etc.) et des tâches, d'une part, et l'organisation des sorties, des entrées et du dialogue d'une application donnée, d'autre part ». (Bastien & Scapin, 1993, p76).

Annexe 3 : questionnaire de confort et d'expérience utilisateur pour le test de l'acceptabilité de lunettes intelligentes de réalité augmentée

A. Message vocal à enregistrer

« Début d'enregistrement sur la parcelle principale du domaine.

C'est ma première visite de la saison sur la parcelle.

La vigne sera au stade du bourgeon dans le coton dans environ 2 semaines.

La vigueur me paraît bonne pour l'instant.

J'ai vu des cochenilles sur les cépages Négrette et Syrah.

Il y a quelques jeunes cochenilles qui sont déjà sorties.

Je vais conseiller au viticulteur de passer les huiles dans les jours qui suivent en fonction des conditions météo.

Fin de l'enregistrement ».

B. Questionnaire de confort

Items	Pas du tout d'accord	Pas d'accord	Je ne sais pas dire	Plutôt d'accord	Tout à fait d'accord
Je ressens de la douleur ou un inconfort quand je porte les lunettes.					
Je sens les lunettes bouger sur mon corps.					
Je ressens que les lunettes affectent ma façon de bouger.					
Je me sens bizarre ou différent quand je porte les lunettes.					
Je suis conscient que les autres me voient porter les lunettes.					
Je me sens anxieux quand je porte les lunettes.					

C. Questionnaire d'expérience utilisateur

Items	Pas du tout d'accord	Pas d'accord	Je ne sais pas dire	Plutôt d'accord	Tout à fait d'accord
Le système est plaisant à utiliser.					
Le système pourrait m'économiser du temps.					
La vitesse du système (délai de réponse) est satisfaisante.					
Le système est efficace.					
L'organisation de l'information est confuse sur le système.					
Apprendre à utiliser le système a été facile.					
Apprendre à utiliser le système a été rapide.					
J'arrive à faire ce que je veux avec le système.					
Au moins un problème dans mes pratiques existantes est résolu avec l'utilisation du système.					
Le système me paraît utile.					
L'utilisation du système pourrait compléter mes pratiques existantes.					
Le système est frustrant à utiliser.					
Le système est pratique.					
Je recommanderai le système à un collègue.					
Le vocabulaire du système est compréhensible.					
Je me rappelle facilement comment utiliser le système.					
L'utilisation du système entraîne de nombreuses erreurs.					
La position des messages sur l'écran du système est cohérente.					
Le système pourrait m'aider à être plus productif.					
Le système me demande un effort pour être utilisé.					
Les caractères sur l'écran du système sont faciles à lire.					

Le système est compréhensible.					
Je détecte facilement mes erreurs sur le système.					
La correction des erreurs est facile sur le système.					
J'imagine une organisation de mes pratiques avec l'utilisation du système.					
En comparaison avec les pratiques existantes, l'utilisation du système me paraît crédible.					

LISTES DES TABLES

Tableau 1 : Principales activités viticoles (adapté de Valdivieso Larrain, 2012)

Tableau 2 : Présentation générale des 4 parties empiriques

Tableau 3 : Déroulement des entretiens avec les 5 viticulteurs

Tableau 4 : Caractéristiques des 5 viticulteurs participants

Tableau 5 : Caractéristiques du guide d'entretien

Tableau 6 : Décalages socio-cognitifs entre concepteurs et acteurs de la coopérative

Tableau 7 : Traits visuels des 7 insectes distracteurs

Tableau 8 : Informations contextuelles données au participant

Tableau 9 : Weather conditions during the tests

Tableau 10 : The tested ARSG characteristics

Tableau 11 : Summary of paired t-test results for the main effects of control mode on the six UX dimensions. Significant effects are highlighted in bold.

Tableau 12 : Comments made by the participants

LISTES DES FIGURES

Figure 1: Cycle de vie d'Eudémis (Thiéry, 2006)

Figure 2 : Variables déterminants le taux d'adoption (d'après Rogers, 1995, p207)

Figure 3 : Theory of Planned Behavior (d'après Ajzen, 1985)

Figure 4 : Technology Acceptance Model (d'après Davis, 1989)

Figure 5 : Technology Acceptance Model 2 (d'après Venkatesh & Bala, 2008)

Figure 6 : Technology Acceptance Model 3 (d'après Venkatesh & Bala, 2008)

Figure 7: Information System Success Model 2003 d'après (Petter et al., 2008)

Figure 8 : Modèle de l'acceptabilité d'un système (d'après Nielsen, 1993)

Figure 9 : Unified Theory of Acceptance and Use of Technology d'après Venkatesh et al. (2003)

Figure 10 : Schéma des 5 carrés adapté de Leplat et Cuny (1977)

Figure 11 : Modèle S.A.C.I. des Situations d'Activités Collaboratives Instrumentées (Rabardel, 1995)

Figure 12 : Activités mentionnées par les viticulteurs

Figure 13 : Facteurs de décision pour l'intervention sur parcelle

Figure 14 : Facteurs pour le positionnement d'une intervention sur parcelle

Figure 15 : Gestion actuelle du risque Eudémis par le conseiller

Figure 16 : Exemple d'imagette envoyée par le piège automatique

Figure 17 : Gestion du risque Eudémis envisagée en conception

Figure 18 : Guided Search 2.0 (d'après Wolfe, 1994)

Figure 19 : Cible Eudémis recherchée

Figure 20 : Distracteurs utilisés : mouches, frelon, abeille, taon, papillon écaille chinée, papillon Cochylis, papillon Eulia

Figure 21 : Distracteurs utilisés quand la cible est respectivement un singleton antennes, couleur ou forme

Figure 22 : Exemple d'essai (condition antennes/forme/taille : identiques, couleur : différent, 5 distracteurs)

Figure 23 : Procédure de l'expérience de recherche visuelle

Figure 24 : The tested ARSG on the glassless mount

Figure 25 : The ARSG virtual environment

Figure 26 : The simulated crop circuit

ACTIVITES DE COMMUNICATION SCIENTIFIQUE ET D'ENSEIGNEMENTS

COMMUNICATIONS SCIENTIFIQUES

- Article

Larbaigt, J., Gaillard, I., & Lemerrier, C. (2020). Prendre en compte l'adoption technologique dès le stade de la conception : Le cas d'un projet en viticulture. *Perspectives interdisciplinaires sur le travail et la santé*, 22(1). <https://doi.org/10.4000/pistes.6442>

- Communication orale

Larbaigt, J., & Lemerrier, C. (2018, octobre). *L'intervention ergonomique en conception pour favoriser l'adoption des technologies : Le cas d'un projet en viticulture*. Symposium : Complémentarité des approches pour la santé au travail : exemple d'interventions pluridisciplinaires en milieu agricole, 53ième Congrès de la SELF, Bordeaux (France).

Larbaigt, J., & Lemerrier, C. (2019, juillet). *Ergonomic intervention as a way to improve technological adoption*. Materials, methods and technologies, Burgas (Bulgarie).

- Communication affichée

Larbaigt, J., & Lemerrier, C. (2018, juin). *Ergonomie et agroécologie : L'approche centrée utilisateur en conception IHM (Poster)*. 29ième Congrès International ICAP (International Association of Applied Psychology), Montréal (Canada).

- Communication grand public

Larbaigt, J., & Lemerrier, C. (2018, juin). *Améliorer l'adoption des technologies en viticulture* [Présentation pour l'Association l'Ormeau de Coustouge]. Rencontres Explorateurs, Coustouge (France).

ENSEIGNEMENTS

L2 psychologie, Université Toulouse Jean-Jaurès

UE 302 : *Méthodologie expérimentale, mesurage et statistiques*

36h (2018) ; 64h (2019)