

Mémoire de fin d'études

présenté pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur Agronome
Option : Production Végétale Durable

Etude de la contribution de la diversité des cultures et des activités agricoles à la résilience des agrosystèmes du plateau de Valensole



par Thibault LEFEUVRE

Année de soutenance : 2018

Organismes d'accueil :

Cirad – UMR System
INRA – UMR Innovation
2 place Pierre Viala, Bat 27
34060 Montpellier



Mémoire de fin d'études

présenté pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur Agronome
Option : Production Végétale Durable

**Etude de la contribution de la diversité des cultures et des
activités agricoles à la résilience des agrosystèmes du plateau
de Valensole**



par Thibault LEFEUVRE

Année de soutenance : 2018

Mémoire préparé sous la direction de :
Hélène Marrou

Présenté le : 18/09/2018

devant le jury :

Rémi GAUDIN

Anne MEROT

Hélène MARROU

Laure HOSSARD

Organismes d'accueil :

Cirad, UMR System

INRA, UMR Innovation

Maître de stage : Laure HOSSARD

RESUME

Le plateau de Valensole, est concerné par plusieurs problématiques : écologiques avec une importante pollution aux nitrates, sanitaires avec le dépérissement du lavandin, économiques avec une filière blé dur mise en difficulté par des prix faibles et une filière légumineuse difficile à construire ou encore climatiques avec des périodes de sécheresse de plus en plus longues et intenses. Les acteurs du territoire, ayant conscience de ces enjeux, ont mis en place le projet Regain pour encourager les pratiques agro-écologiques et cette dynamique en fait un territoire de choix pour étudier les agrosystèmes et leur possible évolution. La diversification des activités agricoles est souvent citée comme facteur d'amélioration pour ces problématiques grâce à différentes actions : meilleure efficacité de l'utilisation des ressources, sécurisation du revenu agricole, diminution de la pression des bio-agresseurs et amélioration de la résilience des agrosystèmes.

Dans l'objectif d'analyser la contribution de la diversité des activités agricoles à la résilience des agrosystèmes du plateau de Valensole, nous avons utilisé et amélioré différents travaux réalisés sur ce territoire, notamment une base de données des activités agricoles du plateau et un modèle bio-économique construit sur la base d'une exploitation réelle. Le travail réalisé dans cette étude a d'abord consisté à ajouter de nouvelles cultures dans la base de données et à adapter le modèle bio-économique sur deux nouvelles exploitations agricoles. Nous étudions donc trois exploitations réelles du plateau présentant des caractéristiques différentes : la première est située dans la zone irrigable du plateau, la deuxième est touchée par le dépérissement, et la troisième est en polyculture-élevage. Nous avons alors utilisé le modèle pour réaliser plusieurs séries de simulations sur trois thématiques : (a) la modification des marchés en jouant sur les prix de vente du blé dur, du lavandin et des légumineuses à graines, (b) l'évolution d'alternatives techniques avec le développement du réseau d'irrigation sur tout le plateau ou l'enherbement du lavandin, et (c) un changement de réglementation en diminuant les IFT.

On constate dans les résultats que le rôle que pouvait jouer les légumineuses en tant que cultures de diversification n'est pas autant mis en avant que l'on pouvait supposer. Le fait que nos trois exploitations agricoles soient initialement très diversifiées avec une importante part de légumineuses a pour conséquence qu'on observe une tendance générale à la diminution de leur surface pour des cultures plus rentables et plus sécurisantes comme le blé dur ou le lavandin, les principales cultures du plateau de Valensole. Nous mettons tout de même en avant un rôle des légumineuses dans la diminution de l'impact agro-environnemental de systèmes étudiés, mais les résultats sur les conséquences sur la résilience de ces systèmes, quantifiée par le maintien de leur structure et de leurs performances demandent à être affinés davantage. L'étude devra être poursuivie en ajoutant d'autres exploitations agricoles actuellement peu diversifiées en légumineuses pouvant servir de point de comparaison avec les trois exploitations étudiées, notamment concernant l'impact des légumineuses sur les performances et la résilience des agrosystèmes. Aussi, ce travail pourra aller plus loin en construisant des scénarios complexes qui croiseront les simulations testées ici. L'objectif est d'obtenir des résultats plus fins pour tirer de meilleures conclusions sur le rôle que peuvent jouer les légumineuses dans les agrosystèmes du plateau de Valensole.

Mots clés : modélisation bio-économique, activité agricole, résilience, diversification, légumineuses, plateau de Valensole

ABSTRACT

Title: Study of the contribution of crop and agricultural activity diversity to the agrosystems resilience in the Valensole plateau.

The Valensole plateau is affected by some issues: ecological with nitrate leaching; sanitary with fading away, a lavender disease; economic because of low durum wheat sell price weakening the sector, and a legume sector in construction; or climatic with longer and harder drought periods. The local stakeholders are aware of those challenges and built the Regain project, to support the development of agro-ecological practices. This dynamic makes of the Valensole plateau an interesting case study for analysing the impact of crop diversification in Mediterranean agrosystems. Diversity of agricultural activities is mentioned frequently as an improvement way for dealing with those issues thanks to some actions: improving resource use efficiency, securing farm income, and lowering pest pressure while improving agrosystems' resilience.

With the objective of analysing the contribution of the diversity of agricultural activities to the resilience of Valensole's agrosystems, we used previous several studies led on this territory, i.e. a database of farming activities, and a bio-economic model built on a real farm. The work realised in this study first consisted in completing the database, adding new crops and possibilities, and in adapting the model to two other farms. Thus, we studied three real farms of the plateau with different characteristics: the first one is located in the irrigable area, the second one is touched by the fading away, and the third one is a mixed crop-livestock farm. With the model, we realised several simulations on three thematics: (a) modifications of the market prices of durum wheat, lavandin and grain legumes, (b) evolution of technics such as the extension of the irrigation network or the grassing between rows of lavandin, and (c) a change in public policy for reducing pesticide use.

We note in the results that the impact of legumes as diversification crops is not shown as much as we could suppose. Indeed, the three farms studied here are already very diversified, with an important area of legumes. One consequence is a general decreasing of the area of these crops, currently less profitable and more risky than the two mains crops of the plateau: the lavandin and the durum wheat. We can at least put forward the role of legumes in the decreasing of the agro-environmental impact of the studied systems, but the results of the consequences on the agrosystems resilience must be refined. This study must be continued with the addition of farms with low area in legumes and less diversified than the three farms studied here. Such farms could then be used as references for comparing the impact of legumes and going further on the study of the resilience of those agrosystems. Also, the work should go further with the construction of complex scenarios, crossing the simulations studied here with the aim of a finest quality in the results and conclusions on the legumes, and their role to play in the resilience of the agrosystems of Valensole plateau.

Key words: bio-economic model, agricultural activity, resilience, diversification, legumes, Valensole plateau.

POUR CITER CE DOCUMENT

Lefevre, Thibault, 2018. Etude de la contribution de la diversité des cultures et des activités agricoles à la résilience des agrosystèmes du plateau de Valensole. Mémoire d'Ingénieur Agronome, option Production Végétale Durable, Montpellier SupAgro. 77p.

REMERCIEMENTS

Je tenais tout d'abord à remercier Laure Hossard, ma maître de stage, pour la qualité de son encadrement, son professionnalisme, sa disponibilité pour répondre à mes interrogations et la confiance qu'elle m'a accordé pour mener à bien cette étude. Je remercie aussi Hatem Belhouchette pour m'avoir aidé à développer le modèle bio-économique lorsque j'étais dans l'impasse.

Merci à tous les acteurs et aux agriculteurs du plateau de Valensole qui ont accepté de répondre à mes sollicitations pour avoir su partager avec moi leur vision de ce territoire riche et magnifique.

Merci aussi aux collègues de l'UMR Innovation, stagiaires, chercheurs, CDD, assistants ou thésards, pour leur bonne humeur et leur dynamisme au quotidien.

Enfin, merci à Hélène Marrou, ma tutrice campus, pour son aide même si tout ce sur quoi nous avons pu travailler n'apparaît pas dans ce mémoire. Un grand merci également à l'ensemble de l'équipe pédagogique de PVD, et bien sûr à mes collègues étudiants de la promotion 2017 de PVD pour cette superbe dernière année en tant qu'étudiant.

TABLE DES MATIERES

Résumé.....	4
Abstract	5
Remerciements	7
Table des matières.....	8
Table des équations	9
Table des figures	10
Table des tableaux.....	11
Avant-Propos.....	12
Glossaire.....	13
Sigles et acronymes.....	14
Introduction.....	15
I. Contexte de l'étude et état de l'art.....	16
A. Notions de résilience et projet SemiArid	16
1. La résilience, quelle définition pour étudier les agrosystèmes.....	16
2. Quel outil pour étudier la résilience des exploitations agricoles ?.....	17
3. Le projet SemiArid pour évaluer la résilience des agrosystèmes méditerranéens	17
B. L'agriculture sur le plateau de Valensole : contexte et enjeux	18
1. Contexte géographique et historique des productions agricoles	18
2. Assolement actuel et contexte économique des filières de production.....	19
3. Problématiques agro-environnementales et projet Regain.....	20
C. Les légumineuses, intérêts agro-écologiques et place sur le territoire.....	21
D. Problématique de l'étude	22
II. Matériel et Méthode.....	23
A. Demarche suivie.....	23
B. Présentation du modèle bio-économique utilisé	23
C. Caractéristiques des trois exploitations choisies et calibration.....	28
1. L'exploitation agricole n°1 : céréalier-lavandiculteur avec accès à l'irrigation ...	28
2. L'exploitation agricole n°2 : les conditions du nord du plateau	29
3. L'exploitation agricole n°3 : le cas polyculture-élevage.....	29
4. Calibration de chaque exploitation agricole.....	30
D. Plan de simulation.....	32
1. Modification des marchés sur le plateau	33
2. Evolutions techniques	33
3. Changement des politiques publiques	34
III. Résultats.....	34
A. Calibration du modèle et performance des exploitations agricoles à l'état actuel.....	34
1. Calibration du modèle pour chaque exploitation	34
2. Caractéristiques simulées de l'état actuel de chaque exploitation	36
B. Simulations d'évolution des marchés économiques	38
1. Augmentation du prix du blé dur	38
2. Diminution du prix du lavandin	40
3. Augmentation des prix des légumineuses à graines.....	42
C. Simulations d'alternatives techniques.....	44

1.	Extension du réseau d'irrigation à tout le plateau	44
2.	Développement de l'enherbement du lavandin	47
D.	Simulation d'une modification de politique publique : la diminution des IFT.....	48
IV.	Discussion.....	51
A.	Retour sur les résultats	51
1.	Place des légumineuses dans les résultats de simulations.....	51
2.	Conséquences des différences de calibration des variabilités rendements et prix	52
B.	Retour sur la méthode	53
1.	La construction du modèle	53
2.	Les activités agricoles et types d'exploitations agricoles.....	54
3.	La prise en compte de bio-agresseurs dans le modèle	55
C.	Quelques éléments pour aller plus loin dans l'étude.....	55
1.	D'autres indicateurs d'impact agro-environnemental	55
2.	Des scénarios à construire avec les acteurs	56
	Conclusion.....	57
	Références bibliographiques	58
	Annexes.....	61

TABLE DES EQUATIONS

Équation 1 : Fonction objectif du modèle.....	27
Équation 2 : Calcul de l'indépendance aux aides PAC.....	28
Équation 3 : Calcul de l'indice de fréquence de traitements (IFT).....	28
Équation 4 : Equations permettant une plantation spontanée de lavandin (1) selon la rentabilité des lavandins déjà plantés et leur part dans la marge brute globale de l'exploitation (2) en limitant économiquement la plantation à la marge brute globale (3).	32

TABLE DES FIGURES

Figure 1 : Le plateau de Valensole et ses limites géographiques (Google Earth)	18
Figure 2 : Proportion des cultures ou de leur type sur les 20 000 ha de SAU du plateau de Valensole (d'après le RPG2016 disponible sur http://professionnel.ign.fr/rpg - consulté le 10/07/18)	19
Figure 3 : Echelle du niveau de dépérissement du lavandin notée de 1 à 4 (CRIEPPAM)	20
Figure 4 : Organisation de travail et démarche suivie.....	23
Figure 5 : Schéma conceptuel du modèle bio-économique repris et développé	24
Figure 6 : Evolution du rendement en huile essentielle pour les quatre types de lavandin : normal, irrigué, dépéri, enherbé (d'après Tardvio (2016) et CRIEPPAM (cf annexe 1)).	26
Figure 7 : Assolement initial entré dans le modèle pour les trois exploitations (A, B et C) d'après l'assolement de l'année 2016-17 renseigné par chaque agriculteur (en % de chaque SAU).	30
Figure 8 : Assolement en fin de calibration par exploitation agricole en % SAU considérée pour chaque EA (EA1 : 224ha, EA2 : 65ha, EA3 : 90ha).	36
Figure 9 : Evolution des surfaces de chaque culture de l'EA 1 en augmentant le prix de blé dur, avec (A) les variabilités de prix et de rendements issues de la calibration et (B) les variabilités régionales.....	38
Figure 10 : Comparaison de l'évolution entre l'état actuel et l'état final (augmentation du prix du blé dur de 50%) des indicateurs économiques (marge brute/ha, indépendance aux aides PAC) et agro-environnementaux (IFT, émission de gaz à effet de serre, consommation d'énergie) pour les trois exploitations (EA1 à 3) avec (A) les variabilités de prix et de rendements issues de la calibration et (B) les variabilités régionales. 0% correspondant à une absence d'évolution par rapport à la situation actuelle....	40
Figure 11 : Evolution de l'assolement selon le pourcentage de diminution du prix de vente du lavandin (actuel : 22 €/kgHE) de EA2 et EA3 pour les variabilités de prix et rendement calibrées. Les pourcentages entourés en rouge signalent une évolution importante de l'assolement commentée ci-après.	41
Figure 12 : Evolution de la marge brute moyenne (€/ha) pour les trois exploitations agricoles étudiées (versions calibrées), en fonction d'une diminution progressive du prix de vente du lavandin par pas de -5%.	42
Figure 13 : Différence de surface de culture (%SAU) entre l'état actuel et final (i.e. prix de vente de légumineuses à graines doublé) pour les exploitations 1 à 3 avec les variabilités calibrées [A] et régionales [B]. Les étoiles indiquent que l'évolution d'une culture est nulle car elle n'est pas présente ni à l'état actuel ni au final.	43
Figure 14 : Ecart (%) entre l'état actuel et l'état final (prix de vente des légumineuses à graines doublé) des indicateurs économiques et agro-environnementaux pour les trois exploitations dans leurs versions calibrées (A) et régionales (B)	44
Figure 15 : Evolution de l'assolement de l'EA2 selon le pourcentage de SAU irrigable pour les valeurs de variabilités calibrées [A] et régionales [B].	45
Figure 16 : Ecart en pourcent pour différents indicateurs économiques ou agro-environnementaux entre les situations actuelles et finales, pour les cas avec variabilités régionales et calibrées pour l'EA2.	45
Figure 17 : Comparaison de la répartition des cultures en %SAU entre l'état actuel et final pour une augmentation de la surface irrigable et un passage à la tarification de la SCP, pour les valeurs de variabilité régionales (gauche) et calibrées (droite).....	46

Figure 18 : Ecart en pourcent pour différents indicateurs économiques et agro-environnementaux entre les situations actuelles et finales des cas avec variabilités régionales et calibrées pour l'EA3.....	47
Figure 19 : Comparaison de l'assolement entre état actuel et final (lavandin enherbé) entre variabilités calibrées (gauche) et régionales (droite) pour l'EA2.....	48
Figure 20 : Evolution des indicateurs économiques et agro-environnementaux de l'EA2 entre l'état actuel et final (lavandin enherbé), avec les cas des variabilités calibrées et régionales.....	48
Figure 21 : Evolutions des assolements de l'EA3 avec des variabilités calibrées [A] et régionales [B] lorsqu'on impose une baisse de l'IFT.....	49
Figure 22 : Evolution de l'assolement selon la réduction des IFT pour le cas variabilités calibrées [A] et régionales [B] sur l'EA2.....	50
Figure 23 : Evolution de l'assolement de l'EA2 dans le cas des variabilités calibrées [A] et régionales [B] pour une augmentation progressive du prix de vente du blé dur (pas de +5%).....	71
Figure 24 : Evolution de l'assolement de l'EA3 dans le cas des variabilités calibrées [A] et régionales [B] pour une augmentation progressive du prix de vente du blé dur (pas de +5%).....	72
Figure 25 : Evolution des assolements de l'EA1, variabilités calibrées [A] et régionales [B], de l'EA2 variabilités régionales [C] et de l'EA3 variabilités régionales [D] pour une baisse du prix de vente du lavandin (par pas de -5%).....	74
Figure 26 : Evolution de l'assolement de l'EA1 pour les variabilités calibrées [A] et régionales [B] pour des simulations de diminutions de l'IFT.....	75

TABLE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Possibilités des sept caractéristiques d'une activité agricole, les cases en jaune représentent un exemple de combinaison formant une activité. Les éléments avec une étoile (*) sont ceux ajoutés par Hitane (2018), ceux ayant deux étoiles (**) ont été rajoutés par moi-même. Il existe 815 activités (i.e. combinaisons) dans la base de données.....	27
Tableau 2 : Pourcentages de variabilité des prix et des rendements par culture. Les valeurs régionales sont celles de référence (Hitane, 2018) et celles par EA sont issues de la calibration de chacune des exploitations (EA1 : zone irrigable ; EA2 : zone avec dépérissement ; EA3 : polyculture-élevage). Les cultures grisées indiquent une absence de modification. A noter que pour les pérennes, la variabilité est la même pour toutes les années, sauf mention contraire pour la première année. L'absence de valeurs (-) signifie que les cultures ne sont pas possibles pour les EA concernées.....	35
Tableau 3 : Valeurs de calibration des trois autres paramètres d'intérêt : le coefficient de plantation de lavandin (entre 0 et 1, 1 correspondant à une grande surface plantée), le prix de vente du blé dur (en €/qt) et le coefficient d'aversion au risque (entre 0 et 2 ; 2 correspondant au plus sensible au risque).....	35
Tableau 4 : Indicateurs économiques (marge brute totale, revenu global, et indépendance aux aides calculée à partir de la marge brute totale) et agro-environnementaux (IFT, émission de gaz à effet de serre et consommation d'énergie) ramené à l'hectare sur chaque exploitation à l'état actuel.....	37
Tableau 5 : Comparaison des assolements observé et simulé pour calibrer le modèle sur chaque agriculteur. Les cultures en gris sont celles pour lesquelles le modèle n'avait pas de choix et qui sont donc peu intéressantes à observer.....	70

AVANT-PROPOS

Ce mémoire a été réalisé dans le cadre du stage de fin d'étude du cursus Ingénieur Agronome de Montpellier SupAgro, option Production Végétale Durable. Il a été financé par le Cirad, UMR System sous le budget lié au projet SemiArid et l'accueil a eu lieu à l'INRA, UMR Innovation, à Montpellier. Ce stage a duré six mois, d'avril à septembre 2018.

GLOSSAIRE

Activité agricole : une activité agricole correspond à une culture, un précédent cultural et un itinéraire technique sur l'année culturale.

Année culturale : pour une culture donnée, période commençant après la récolte du précédent cultural, jusqu'à la récolte de la culture d'intérêt. On y comprend donc le cycle végétatif complet de la culture considérée et la période d'inter-culture (pouvant être cultivée ou non) précédant sa mise en place.

Agrosystème : écosystème des parcelles cultivées d'une exploitation agricole.

Aversion au risque : caractéristique du comportement de l'agriculteur face à la variabilité de prix et du rendement d'une culture et influençant le choix des cultures. Compris entre 0 et 2, on considère le niveau 0 comme une absence totale de prise en considération du risque et le niveau 2 comme un agriculteur très sensible au risque de cultiver une espèce plutôt qu'une autre.

Dépérissement : maladie touchant la lavande et le lavandin, causé par le phytoplasme de Stolbur et transmis par *Hyalesthes obsoletus* (cicadelle). Très présent sur le nord du plateau de Valensole.

IFT (Indice de Fréquence de Traitements) : indicateur d'impact agro-environnemental. A l'échelle d'une activité agricole : ratio pour chaque produit de la dose appliquée par la dose homologuée. A l'échelle de l'exploitation : somme des IFT par activité agricole selon la surface de chaque activité, pondérée par la surface agricole utile. On fait ici l'hypothèse que pour chaque parcelle la surface traitée est égale à la surface de la parcelle.

Itinéraire technique : ensemble des interventions de l'agriculteur sur une année culturale : gestion des résidus du précédent cultural, d'une inter-culture (s'il y en a une), travail du sol, semis, fertilisation, irrigation, protection phytosanitaire et récolte.

Résilience : capacité d'un (agro)système à absorber une perturbation de son environnement et maintenir un état initial défini par un ensemble d'indicateurs de performance économique et d'impact agro-environnemental.

SIGLES ET ACRONYMES

AB : Agriculture Biologique

ANR : Agence Nationale de la Recherche

AOP : Appellation d'Origine Protégée

CA04 : Chambre d'Agriculture des Alpes de Haute Provence

CIRAD : Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement

CRIEPPAM : Centre Régionalisé Interprofessionnel d'Expérimentation en Plantes à Parfum Aromatiques et Médicinales

EA : Exploitation Agricole

GAMS : General Algebraic Modelling System

GES : Gaz à effet de serre

GPS : Groupe Provence Services

HE : Huile Essentielle

IAMM : Institut Agronomique Méditerranéen de Montpellier

ICHN : Indemnité Compensatoire de Handicap Naturel

IFT : Indice de Fréquence de Traitement

INRA : Institut National de la Recherche Agronomique

MB : Marge Brute

PAC : Politique Agricole Commune

PACA : Provence Alpes Côte d'Azur

PNRV : Parc Naturel Régional du Verdon

PPAM : Plantes à Parfum, Aromatique et Médicinales

PVD : Production Végétale Durable

RPG : Registre Parcellaire Graphique

SAU : Surface Agricole Utile

SCA3P : Société Coopérative Agricole des Plantes à Parfum de Provence

SCP : Société du Canal de Provence

SIE : Surface d'Intérêt Ecologique

UMR : Unité Mixte de Recherche

INTRODUCTION

L'agriculture, comme beaucoup d'autres domaines de notre société, est concernée par une prise de conscience écologique et une remise en question des modèles de production issus de la modernisation post-seconde guerre mondiale. Les agrosystèmes actuels demandent à être étudiés pour en analyser les performances, mais aussi leur impact sur l'environnement, notamment dans un contexte de réchauffement climatique et de nécessaire réduction des émissions de gaz à effet de serre mis en exergue par les accords de Paris sur le climat en 2015. Cette analyse des systèmes de production actuels peut se faire dans l'objectif d'identifier leurs limites, mais aussi de les reconcevoir pour plus de durabilité. Différentes actions incitatives émergent pour inciter au changement, que ce soit à l'échelle européenne avec la valorisation financière de mesures agro-écologiques dans le cadre de la PAC (Politique Agricole Commune), à l'échelle nationale avec le plan Ecophyto qui vise à réduire de 50% les traitements phytosanitaires à l'horizon 2025, ou encore à l'échelle territoriale avec des initiatives d'accompagnement des agriculteurs vers des pratiques plus agro-écologiques, comme le projet Regain sur le plateau de Valensole.

Dans ce cadre de prise de conscience écologique et de souhait de diminuer les impacts environnementaux, les légumineuses semblent être un atout de choix : diversification des assolements, réduction de la fertilisation azotée, diminution des pressions de bio-agresseurs et autres services écosystémiques. Mais comment les introduire dans les agrosystèmes actuels, qui ont souvent délaissé ces cultures pour d'autres plus rentables, plus sûres (au regard de la variabilité des rendements et des marchés) ou plus simples à conduire ? Pour comprendre et analyser les systèmes de cultures actuels, on peut avoir recours à la modélisation. Plusieurs types existent : les modèles de cultures axés sur le développement physiologique d'un couvert végétal comme le modèle STICS, les modèles d'aide à la conception de systèmes de cultures innovants comme le modèle DEXiPM, ou encore des modèles bio-économiques comme celui développé dans cette étude. Tous ces outils permettent d'évaluer et de quantifier les interactions qu'il peut y avoir entre les différentes composantes d'un agrosystème. Ces outils peuvent alors contribuer à évaluer la résilience d'un agrosystème, définie comme sa capacité à absorber une perturbation de son environnement en restant productif, rentable économiquement et à fournir des services écosystémiques. Ainsi, la modélisation peut devenir un outil d'aide à la décision lorsque les études sont réalisées en collaboration avec des acteurs de terrain et des agriculteurs, pour par exemple repenser les systèmes agricoles pour plus de durabilité.

Plusieurs projets émergent sur la thématique de l'évaluation de la résilience d'éco- ou d'agrosystèmes dans le monde. C'est dans le cadre de l'un de ces projets, le projet SemiArid, que s'inscrit cette étude. Nous travaillons sur l'exemple du plateau de Valensole, pour analyser comment la diversité des activités agricoles et des cultures, avec un focus tout particulier sur les légumineuses, pouvait contribuer à améliorer la résilience des agrosystèmes de ce territoire provençale.

Nous verrons donc dans cette étude dans quel contexte elle s'inscrit, aussi bien d'un scientifique avec un état de l'art sur la résilience et la modélisation bio-économique, que pratique avec la présentation de notre terrain d'étude : le plateau de Valensole. Dans un second temps nous présenterons les outils et la méthodologie que nous avons mis en place pour mener à bien cette étude et présenterons les principaux résultats obtenus dans une troisième partie. Enfin nous discuterons de ces résultats et de la méthode pour voir comment ils nous permettent de répondre à notre problématique et envisager des moyens de poursuivre le travail engagé ici.

I. Contexte de l'étude et état de l'art

A. Notions de résilience et projet SemiArid

1. La résilience, quelle définition pour étudier les agrosystèmes

La résilience a d'abord été décrite et construite pour des écosystèmes avant d'être adaptée aux agro(éco)systèmes. La définition la plus couramment citée comme étant la première définition est celle de Holling (1973) où il décrit la résilience comme la capacité d'un écosystème à absorber les perturbations et à persister malgré celles-ci. On mesure ainsi une probabilité d'extinction ou la persistance d'un écosystème. Il l'oppose en partie à une autre caractéristique : la stabilité qui décrit alors la capacité d'un système à retourner à son état initial après une perturbation. Par la suite, ces deux notions (maintien d'un état vs. Retour à un équilibre) ont été confondues sous le même terme de résilience. Une distinction peut parfois être faite entre le terme de résilience mécanique pour la notion de maintien, et celui de résilience écosystémique pour celle de retour à l'équilibre (Brand et Jax, 2007).

Appliquée au domaine agricole, la résilience devient donc la capacité d'un agrosystème à rester productif malgré un stress, par exemple climatique (Altieri et al., 2015), biotique comme une maladie ou un ravageur (Murrell, 2017), ou encore un choc économique. Dans le contexte de changement climatique, on peut donc parler de résilience à court-terme face à des événements climatiques ponctuels, mais aussi de résilience à long-terme, correspondant à la capacité d'adaptation aux effets du changement climatique (Antle et al., 2018). On peut alors étudier la résilience d'un agrosystème à plusieurs échelles (sociales, écologiques ou économiques) et sur plusieurs critères : la productivité, la durabilité du système, l'impact sur l'environnement ou encore la production de services écosystémiques (Peterson et al., 2018).

D'un point de vue agronomique, une manière générale d'améliorer la résilience d'un agrosystème semble résider dans l'augmentation de la biodiversité, aussi bien en terme d'espèces cultivées que d'insectes auxiliaires, grâce à des pratiques agro-écologiques (Borron, 2006 ; Lin, 2011). A l'échelle de l'exploitation agricole, la diversification des cultures permettrait d'améliorer la répartition et l'utilisation des ressources en eau et en nutriments, la qualité des sols, mais aussi de limiter le risque d'échec sur une culture, lié à un stress biotique ou abiotique ou encore de limiter l'impact de modification brutale de prix ou de marché (Altieri et al., 2015 ; Borron, 2006). Dans cet exemple de diversification des cultures sur une exploitation agricole, on peut parler de régulations internes à l'agrosystème en lien avec les processus biologiques favorisés par une action (ici la diversification), en comparaison à une régulation externe avec un effet direct de l'action de l'agriculteur, comme l'application d'un pesticide (Peterson et al., 2018). A l'échelle d'un territoire, la diversité des cultures augmenterait également la résilience générale des rendements face aux risques écologiques comme aux fluctuations du marché (Abson, Fraser et Benton, 2013).

Au-delà de la production agricole, le revenu de l'exploitation peut également être analysé par la notion de résilience. Différentes méthodes ont été décrites comme par exemple la mesure de la perte économique engendrée par la perturbation et le temps nécessaire pour que l'agrosystème revienne à un niveau stable, que celui-ci corresponde à celui d'origine ou un nouvel équilibre (Antle et al., 2018). On peut aussi suivre l'évolution de plusieurs indicateurs économiques spécifiques comme ces trois indicateurs de performance pour évaluer la résilience économique : le capital naturel (soit la surface de terres agricoles de l'exploitation agricole), le capital social (soit la capacité de main d'œuvre) et le capital financier (soit la fluctuation du revenu) (Souissi et al., 2018).

2. Quel outil pour étudier la résilience des exploitations agricoles ?

La modélisation bio-économique peut servir d'outil pour évaluer la résilience à différentes échelles (exploitation agricole ou territoire) en analysant simultanément plusieurs composantes de cette résilience (agronomique, écologique ou économique). Ce type de modèle a pour caractéristique de relier, pour différents types d'exploitations agricoles, des décisions d'allocation de ressources de la part d'un agriculteur avec des possibilités de productions alternatives ou déjà en place impactées par différentes contraintes (Janssen et van Ittersum, 2007).

Ce type de modélisation est basé sur de la programmation mathématique, qui consiste à analyser les choix des agriculteurs en formulant puis en résolvant des problèmes d'optimisation sous contraintes. On construit alors un modèle de simulation décrivant de manière plus ou moins simplifiée les processus de production en prenant en compte différents aspects de l'économie agricole (objectif, contraintes, prise de risque...). Cela implique de comprendre les motivations de l'agriculteur pour affiner le modèle et, *in fine*, l'aide à la décision. L'étude peut ainsi être menée à différentes échelles : l'exploitation agricole, le secteur (régional, national...) ou général en entrant en interaction avec d'autres secteurs comme l'énergie (Jacquet et al., 2017).

On peut alors représenter le comportement et les décisions que prendrait un agriculteur face à différentes situations. On étudie des facteurs d'évolution globaux (comme le changement climatique) et locaux, comme le contexte économique d'une filière spécifiquement étudiée pour évaluer les conséquences de ces changements à l'échelle régionale ou de l'exploitation (Delmotte et al., 2017). On peut aussi simuler l'impact d'autres critères économiques sur le comportement de l'agriculteur comme l'évolution de politiques publiques, notamment la mise en place de subventions (Chenoune et al., 2017), l'évolution du prix d'achat d'intrants (Komarek et al., 2017), ou encore l'amélioration de plusieurs facteurs, seuls et combinés, comme les avancées technologiques, la qualité, le rendement, le prix de vente et la variabilité de ceux-ci (Mahmood et al., 2017). Si tous ces éléments sont étudiés individuellement on parle de simulations « simples », voire d'analyse de sensibilité du modèle à un paramètre si plusieurs valeurs sont testées. Un scénario correspondant à la description de futurs possibles, reflétant différentes perspectives sur les facteurs de changements passés, présents, et futurs (Van Notten, 2005 ; Alcamo et Henrichs, 2008), on parlera de scénario dès lors que l'on étudie l'effet combiné d'au moins deux changements simultanés.

3. Le projet SemiArid pour évaluer la résilience des agrosystèmes méditerranéens

Financé par l'Agence Nationale de la Recherche (ANR), le projet SemiArid (pour *Sustainable and Efficient Mediterranean farming systems : Improving Agriculture Resilience through Irrigation and Diversification*), étudie la résilience des systèmes agricoles sur trois cas d'étude méditerranéens : la plaine de Saïs au Maroc, la région de Sétif en Algérie et le plateau de Valensole dans le sud de la France. L'évaluation de cette résilience est réalisée selon différents critères : la structure de l'exploitation agricole, la diversité des cultures, la gestion de l'eau ou encore la stratégie de production alimentaire. On cherche ainsi à évaluer la capacité des exploitations agricoles à maintenir leur productivité à un niveau élevé tout en fournissant des services écosystémiques, malgré des changements ou chocs d'ordre socio-économique ou climatique. Dans certains cas, on s'intéressera également à la consommation des ménages agricoles en plus de la stratégie de production et du suivi des indicateurs agro-environnementaux. Les chocs ou changements socio-économiques ou liés au climat sont représentés au travers de diverses simulations ou scénarios définis avec les acteurs des différents territoires d'étude (Belhouchette, 2016).

B. L'agriculture sur le plateau de Valensole : contexte et enjeux

1. Contexte géographique et historique des productions agricoles

Le plateau de Valensole est un territoire situé au sud du département des Alpes de Haute Provence (04), dans la région PACA (Provence Alpes Côte d'Azur) et fait partie intégrante du Parc Naturel Régional du Verdon (PNRV). Il est délimité au nord et à l'ouest par les vallées de l'Asse et de la Durance, au sud par le Verdon et le lac de Sainte Croix, et à l'est par les contreforts alpins (voir *Figure 1*). Ce plateau s'étend sur environ 500 km², avec une altitude variant entre 350 et 850 mètres. Il présente des sols drainants et peu profonds et un climat sec typiquement méditerranéen, où on note en moyenne 700 mm de précipitations sur l'année, principalement réparties sur l'automne et le printemps (PVD, 2013).

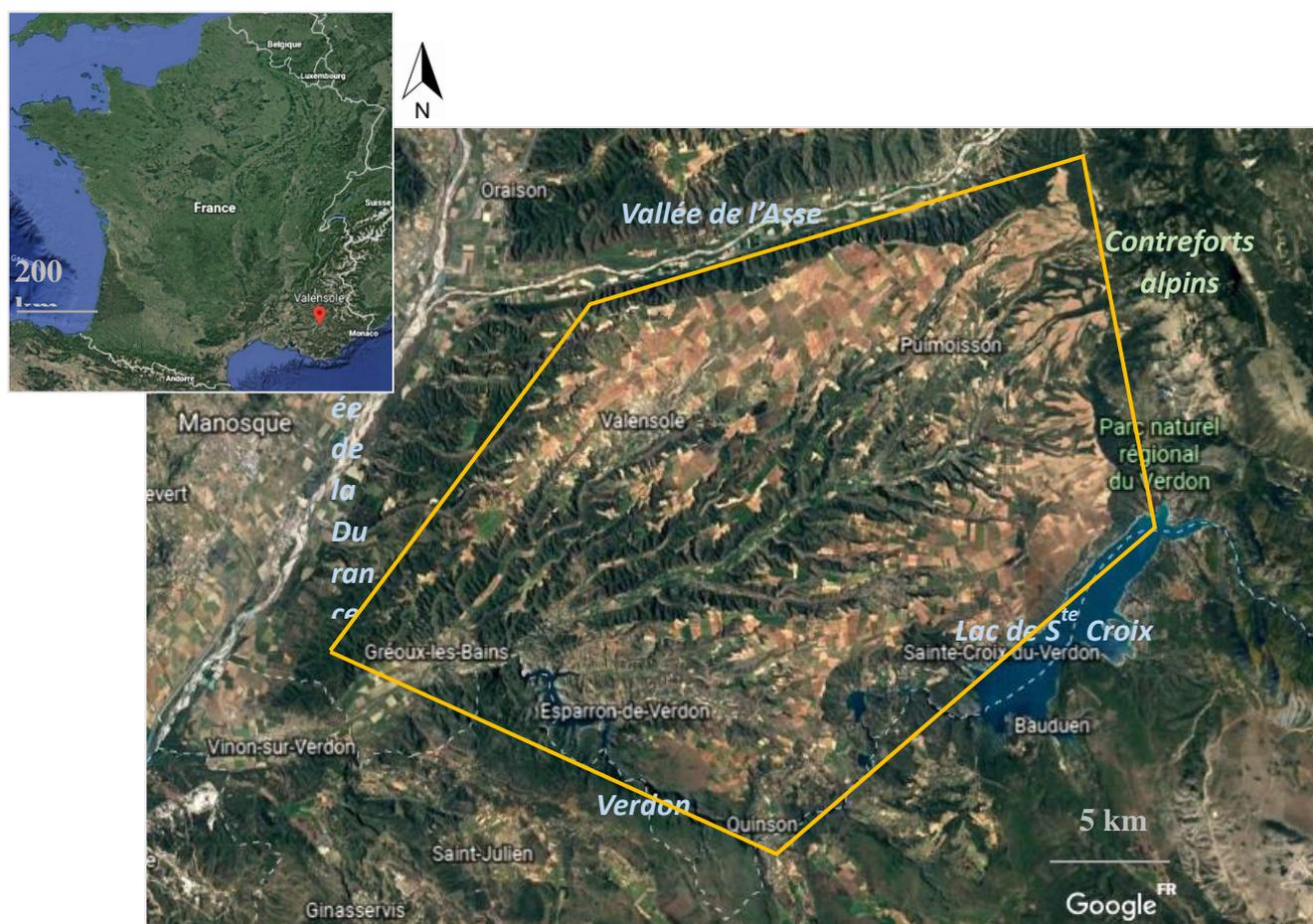


Figure 1 : Le plateau de Valensole et ses limites géographiques (Google Earth)

Sur ses 20 000 ha de surface agricole utile (SAU), le plateau de Valensole est caractérisé par un agrosystème spécialisé dans deux cultures majoritaires : le blé dur et le lavandin, dont les champs bleu-violet attirent les touristes du monde entier et font la renommée de la Provence (PVD, 2013). C'est dans les années 1960 que s'est développée la culture de lavandin, plus rentable et moins sensible que celle de la lavande fine, et les surfaces en blé dur ont augmenté avec les primes à la production mises en place en 1967. Dans les années 1980, la Société du Canal de Provence a aménagé un réseau d'irrigation au sud du plateau de Valensole et des cultures irriguées ont commencé à diversifier les paysages du plateau. Mais les innovations techniques, l'évolution des marchés et les réformes de la PAC n'ont pas permis de maintenir cette diversification : il a été rapidement plus rentable de revenir à des systèmes basés sur le lavandin et le blé dur (Welsh, 2017).

2. Assolement actuel et contexte économique des filières de production

Aujourd'hui, la forte présence de ces deux cultures dans la région est confirmée grâce au RPG (registre parcellaire graphique) de 2016 (<http://professionnel.ign.fr/rpg>) basé sur les déclarations PAC des agriculteurs, avec une occupation de plus d'un quart de la SAU par les cultures de lavande/lavandin et de près d'un quart également pour le blé dur. Sur le reste de la SAU, on retrouve principalement des fourrages (du sainfoin majoritairement), des oléagineux (colza et tournesol surtout), d'autres céréales comme l'orge, d'autres PPAM (Plantes à Parfum, Aromatiques et Médicinales), et des prairies permanentes et temporaires (voir Figure 2).

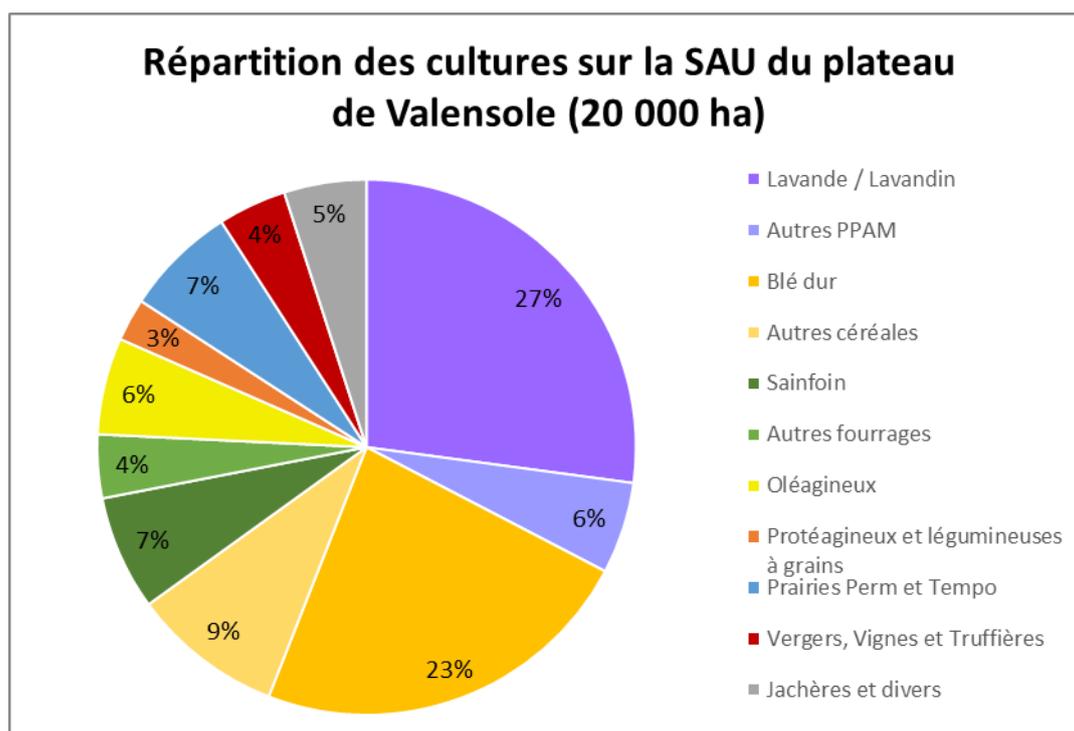


Figure 2 : Proportion des cultures ou de leur type sur les 20 000 ha de SAU du plateau de Valensole (d'après le RPG2016 disponible sur <http://professionnel.ign.fr/rpg> - consulté le 10/07/18)

Ce système est aujourd'hui encore en évolution. En effet, les prix de vente et les rendements du blé dur sont très bas, ce qui rend cette culture peu rentable, tandis que les PPAM et notamment le lavandin sont des cultures très rémunératrices. Le blé dur reste très présent, du fait de son implantation historique, parce que sa conduite est bien maîtrisée et que c'est une culture mobilisant peu de main d'œuvre, mais on observe toutefois une tendance à la diminution des surfaces de blé dur, remplacées par de nouvelles plantations de lavandin. Cette diminution des surfaces en céréales se fait au détriment des acteurs de cette filière comme la coopérative GPS (Groupe Provence Services). Le blé dur est en effet leur principale culture commercialisée, avec un marché solide et stable, contrairement à d'autres cultures prises en charges par la coopérative. En effet, GPS tente de se diversifier sur le marché des légumineuses à graines mais cette filière est encore en plein développement et la stabilité du marché n'est pas garantie, avec actuellement un nombre d'acheteurs et de producteurs relativement faible (GPS, communications personnelles, cf Annexe 1).

Le lavandin, principale plante à parfum cultivée sur le plateau de Valensole, bénéficie d'un prix de vente élevé avec une tendance à la hausse ces dernières années. Cette culture a l'avantage de s'insérer dans une filière structurée, notamment par la coopérative SCA3P (pour Société Coopérative Agricole des Plantes à Parfum de Provence) et des instituts techniques comme le

CRIEPPAM (Centre Régionalisé Interprofessionnel d'Expérimentation en Plantes à Parfum Aromatiques et Médicinales). La coordination nationale est assurée par l'association PPAM de France, qui représente les producteurs de PPAM mais aussi les distillateurs et les metteurs en marchés. La France est leader sur le marché du lavandin avec 20 000 ha de surfaces cultivées (dont 5 500 sur le plateau de Valensole) et une augmentation des demandes liée au développement de l'aromathérapie notamment. Mais le marché de la lavande ne se porte pas aussi bien. En effet, la France est nettement devancée par la Bulgarie malgré le développement d'une AOP (appellation d'origine protégée) « Huile essentielle de lavande de Haute Provence ». Toutefois, lavande et lavandin sont des cultures bien maîtrisées et qui bénéficient d'une image « naturelle » mais aussi d'un aspect paysager fort, emblème de la Provence et permettant le développement d'autres économies comme le miel de lavande et le tourisme (PPAM de France, 2017 ; SCA3P, communication personnelle, cf Annexe 1).

3. Problématiques agro-environnementales et projet Regain

Malgré l'excellent contexte économique du lavandin et l'implication de toute une filière de production comme présentés ci-dessus, les cultures de lavande et lavandin sont fortement touchées par un problème sanitaire : le dépérissement du lavandin. Toutefois, le plateau de Valensole n'est pas touché uniformément par cette maladie puisqu'elle se concentre principalement dans le nord du plateau. Cette maladie est causée par le phytoplasme du stolbur et se traduit par une perte de vigueur du plant ainsi qu'un jaunissement du feuillage. On observe alors une diminution de nombre de hampes florales, des tiges plus courtes ainsi que des feuilles plus petites. Ces symptômes peuvent s'aggraver jusqu'à la mort du plant en deux ou trois ans. On peut alors établir une échelle de quatre stades pour évaluer le niveau de dépérissement sur le plant : 1. Plante saine ; 2. Début de perte de vigueur et diminution du nombre de hampes florales ; 3. Forte perte de vigueur, plante jaunissante, peu ou plus de hampes avec des sections du plant qui ne redémarrent plus ; 4. Plante morte (voir Figure 3). La décision d'arracher ou non une parcelle est très variable selon les agriculteurs et peut aller d'un seuil de 20-30% de la parcelle touchée jusqu'à attendre que la totalité de la parcelle soit touchée (CRIEPPAM, communication personnelle, cf Annexe 1).

Ce phytoplasme est transmis par une cicadelle (*Hyalesthes obsoletus*), un insecte piqueur-suceur ayant de nombreuses plantes hôtes. Le lavandin est l'une de ces plantes hôtes, et



Figure 3 : Echelle du niveau de dépérissement du lavandin notée de 1 à 4 (CRIEPPAM)

l'infestation est d'autant plus forte que *Hyalesthes* peut y faire son cycle en entier. A noter toutefois que le lavandin est moins sensible au dépérissement que la lavande. L'insecte vecteur est très adapté au plateau de Valensole, avec un grand nombre de plantes hôtes dans le paysage, ce qui rend la prophylaxie difficile à mettre en place. D'autant plus que les périodes de vol coïncident avec la floraison du lavandin et donc le vol des abeilles,

interdisant de fait l'utilisation d'insecticide. *Hyalesthes* peut alors transmettre le phytoplasme en passant d'une plante infectée à une plante saine. La répartition des plants malades sur une parcelle peut donc être très hétérogène avec des plants parfois isolés, mais c'est ce qui permet d'affiner le diagnostic en éliminant d'autres causes possibles de jaunissement comme des chloroses réparties en « spots » sur la parcelle. On retrouve aussi cette cicadelle et le phytoplasme du stolbur sur

d'autres cultures puisqu'il est responsable de la maladie du bois noir sur vigne ou du stolbur sur tomate et tabac (Yvin et al., 2017).

De manière plus générale, l'intensification des pratiques agricoles a dégradé la qualité de l'eau et des sols avec des problèmes de plus en plus préoccupants d'érosion des sols ou encore d'excès d'azote. Le problème est tel que le plateau de Valensole a été classé en Zone Vulnérable Nitrate en 2012. Une partie du plateau est également classée Zone Natura 2000 et, pour préserver des espèces menacées comme l'outarde canepetière, des actions sont mises en place comme les trames vertes et bleues avec le PNR du Verdon notamment (Welsh, 2017).

C'est dans ce contexte environnemental que le projet Regain a été créé en 2014 par la chaire d'entreprise AgroSYS et trois acteurs du territoire : la Société du Canal de Provence (SCP), le Parc naturel régional du Verdon (PNRV) et la Chambre d'agriculture des Alpes de Haute Provence (CA04). Il a pour objectif d'amener les agriculteurs du plateau vers des pratiques plus durables, avec différentes études sur, par exemple, la qualité des sols, la maîtrise de la fertilisation des céréales à pailles, ou encore les relations entre agriculture, paysage et biodiversité (PVD, 2018).

C. Les légumineuses, intérêts agro-écologiques et place sur le territoire

Les légumineuses se caractérisent par une capacité particulière dans le monde végétal : celle de fixer l'azote de l'air grâce à une symbiose avec des bactéries du genre *Bradyrhizobium* ou *Rhizobium*. Elles sont donc une voie d'entrée naturelle d'azote dans les éco- (et agro-) systèmes, ce qui valait aux légumineuses une place importante dans les systèmes agricoles jusqu'à la production à grande échelle d'engrais industriels au milieu du XXe siècle. Ces engrais azotés ont pourtant un impact négatif sur l'environnement : une consommation énergétique importante (pour leur fabrication, leur transport et leur épandage), un risque de fuite dans l'environnement si la fertilisation est mal gérée et donc de pollution azotée... Mais au-delà de limiter les besoins en fertilisants azotés et les risques de lixiviation, l'insertion de légumineuses dans les rotations a d'autres intérêts agronomiques comme de participer à la réduction de l'usage des produits phytosanitaires à l'échelle de la rotation. En effet, l'alternance de familles botaniques différentes dans des rotations allongées et des cycles de cultures différents (cultures d'hiver / de printemps) contribuent à améliorer la qualité du sol et rompre les cycles des pathogènes, des ravageurs ou des adventices, ce qui diminue le risque de maladie et la pression générale des bio-agresseurs. A l'échelle de l'exploitation ou du territoire, la diversification des assolements permet de diversifier la faune sauvage et donc les mécanismes de régulation naturelle et autres services écosystémiques (Schneider et Huyghe, 2015).

De plus, dans les pays développés on a pu observer une diminution de la consommation de légumes secs à cause d'une mauvaise image pour les consommateurs (digestibilité, temps de cuisson...) et d'une préférence pour les protéines d'origine animale, privilégiées par rapport aux protéines végétales. D'autant plus que selon les classifications, les légumes secs sont considérés comme des féculents (pour les recommandations du Plan national Nutrition Santé) et non comme une source alternative de protéines comme dans la pyramide alimentaire américaine ou canadienne par exemple. Ce désintéressement des consommateurs pour les légumineuses au moment de l'industrialisation des sociétés conduit aujourd'hui à des filières peu développées en France. Les échanges commerciaux sont principalement dominés par la grande distribution sur des produits transformés et majoritairement importés. Pourtant les mentalités évoluent, aussi bien du côté des agriculteurs au travers de la transition agro-écologique, qu'au niveau des consommateurs avec une augmentation de la demande. On peut lier cette dernière au développement des régimes végétariens

qui conduit à un développement de produits transformés à base de légumineuses, comme les steaks végétaux, mais aussi la remise en valeur des vertus nutritionnelles des légumes secs (faible indice glycémique et teneur en matière grasse, richesse en fibres, qualité des protéines, etc.). Ainsi, si les intérêts agronomiques sont démontrés, l'implantation de cultures de légumineuses est dépendante de la (re)structuration d'une filière pour assurer un débouché à l'agriculteur (*Metayer et Denhartigh, 2016*).

Sur le plateau de Valensole, les légumineuses représentent environ 11% de la SAU du territoire (*Figure 2*), majoritairement représentées par les légumineuses fourragères (sainfoin et en partie luzerne). Ces cultures pérennes sont bien adaptées aux conditions pédoclimatiques du plateau de Valensole et sont valorisées en vente directe grâce à l'élevage ovin bien présent sur le territoire et ses environs. Mais les légumes secs ne bénéficient pas d'un débouché structuré et sécurisé. Comme expliqué plus haut, c'est généralement la coopérative GPS qui en gère la vente avec un faible débouché. Les tensions autour de cette culture sont d'autant plus fortes qu'un développement des légumineuses à graines se ferait probablement au dépend des surfaces de blé dur, principale source de revenu de cette même coopérative. D'autant plus que la faible maîtrise de ces espèces par les agriculteurs de la région induit également une problématique de rendements trop variables (*GPS, communications personnelles, cf Annexe 1*).

Une autre problématique d'importance touche les légumineuses à graines : le sanglier. Très présent sur le plateau, il est très attiré par certaines cultures comme les pois et peut en ravager totalement les parcelles. Malgré une indemnisation de la fédération départementale de chasse couvrant les pertes économiques, c'est un frein psychologique, voir économique d'importance pour les agriculteurs de la région (*Prodia, communications personnelles, cf Annexe 1*).

D. Problématique de l'étude

C'est donc dans le cadre du projet SemiArid et de l'étude de la résilience des agrosystèmes du plateau de Valensole que se déroule mon stage. Le levier agro-écologique suivi est la diversification avec un accent mis sur le cas des légumineuses, notamment pour leur intérêt agro-environnemental comme expliqué ci-dessus. La problématique de l'étude est donc la suivante : comment la diversité des cultures et des activités agricoles, notamment à travers l'insertion de légumineuses, contribue-t-elle à améliorer la résilience économique et agro-environnementale des exploitations agricoles face à des changements majeurs sur le plateau de Valensole ?

II. Matériel et Méthode

A. Démarche suivie

Le schéma ci-dessous (Figure 4) représente les différentes étapes suivies pour cette étude.

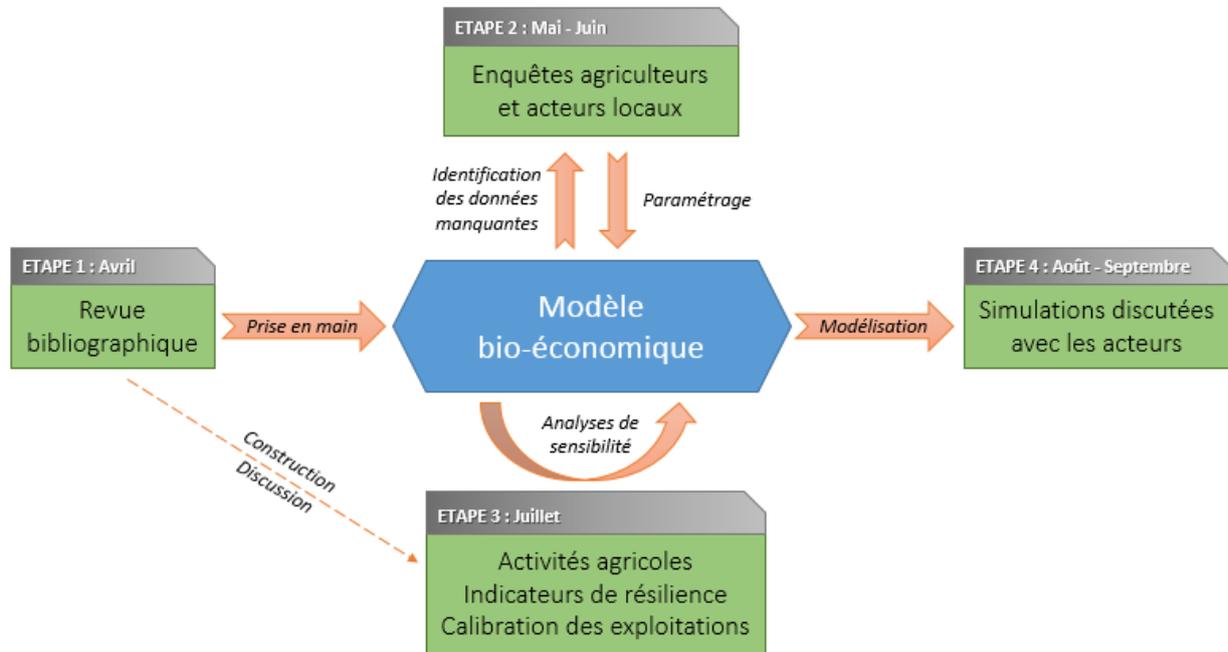


Figure 4 : Organisation de travail et démarche suivie

Le modèle bio-économique utilisé ici a d'abord été construit dans une précédente étude (Hitane, 2018) sur l'exemple d'une exploitation agricole réelle, qui est située au sud du plateau et ayant accès au réseau d'irrigation de la SCP. Afin d'approcher la diversité des systèmes agricoles du plateau de Valensole, nous avons choisi de développer le modèle sur l'exemple de deux autres exploitations réelles : la première située au nord du plateau, sans accès à l'irrigation et fortement touchée par le dépérissement du lavandin ; la deuxième est caractérisée par l'association d'élevage ovin à la production végétale. Les caractéristiques et spécificités de ces trois exploitations seront présentées plus en détail dans la partie II.C. Le paramétrage de ces exploitations agricoles a été réalisé après des entretiens avec les agriculteurs choisis.

Le choix de n'enquêter que deux agriculteurs supplémentaires vient du fait que les agriculteurs sont déjà très sollicités. Beaucoup arrivent donc à saturation et les acteurs de Regain craignent une sortie totale des projets en cours. Des compléments d'information ont donc été pris à dire d'experts en sollicitant différents acteurs du territoire : CA04, CRIEPPAM, Prodia, GPS, SCA3P... Ces entretiens m'ont permis de mieux apprécier la réalité du plateau et ses contraintes, que ce soit à l'échelle de l'exploitation ou bien de la filière pour les prendre en compte le plus finement possible dans le modèle ou dans les simulations en compléments des divers travaux déjà réalisés. Les comptes-rendus synthétiques de ces entretiens sont disponibles en annexe (annexe 1).

B. Présentation du modèle bio-économique utilisé

Pour mener à bien ce projet, l'outil utilisé est un modèle bio-économique à l'échelle de l'exploitation agricole (EA) construit sous Gams. Le logiciel Gams (pour *General Algebraic*

Modelling System) a été développé en 1980 par des économistes de la banque mondiale. Il s'agit d'un logiciel d'optimisation utilisant un langage algébrique de modélisation (Jacquet et al., 2017).

Le modèle a été développé pour simuler de manière statique une combinaison optimisée des activités culturales sur une exploitation réelle du plateau de Valensole pour une année. Cet assolement doit alors répondre au mieux aux objectifs de l'agriculteur (ici nous avons fixé par défaut l'objectif de maximiser le revenu) tout en tenant compte de l'assolement initial, et de plusieurs opportunités et contraintes. Ces contraintes peuvent être des caractéristiques propres à la structure de l'exploitation comme la surface ou la main d'œuvre disponible, l'accès à l'irrigation et le matériel à disposition, ou bien législative comme le placement en Zone Vulnérable Nitrate ou les directives de la PAC. On trouve également des contraintes à plus grande échelle (régionale, nationale, etc.) comme les prix de vente, leur variabilité et la variabilité des rendements. En plus d'être des contraintes, les prix de vente peuvent également être considérés comme des opportunités avec des cultures plus rentables que d'autres, tout comme les aides PAC. Le schéma conceptuel ci-dessous (Figure 5) représente le fonctionnement du modèle bio-économique pour une exploitation agricole.

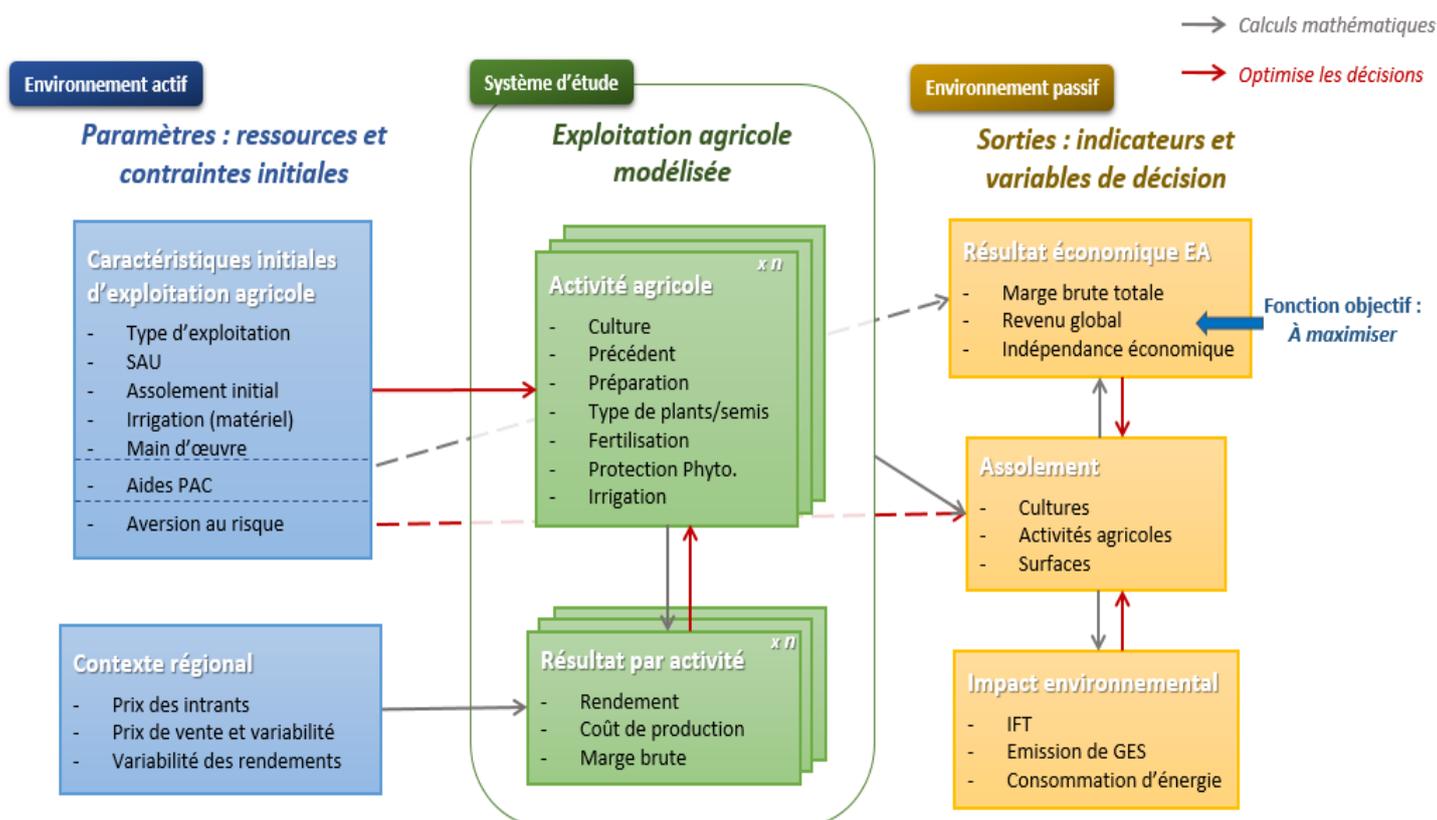


Figure 5 : Schéma conceptuel du modèle bio-économique repris et développé

Dans ce schéma conceptuel, on retrouve trois colonnes : le système étudié au centre, l'environnement actif à gauche qui représente les éléments influant sur le système, et l'environnement passif à droite qui représente les sorties analysées. L'environnement actif regroupe donc les paramètres du modèle, soit les contraintes ou ressources disponibles évoquées ci-dessus et l'environnement passif contient les différentes sorties du modèle : les résultats économiques et autres indicateurs calculés par le modèle. Notre système d'étude, situé entre ces deux compartiments, est ainsi défini par un ensemble d'activités agricoles¹ possibles et les résultats

¹ Activité agricole : permet de décrire les itinéraires techniques possibles pour une culture avec différentes contraintes.

associés. **On définira ici une activité agricole comme la combinaison d'une culture, d'un précédent cultural et de plusieurs éléments de conduite : le mode de préparation du sol, le type de plants ou semis, la stratégie de fertilisation, la stratégie de protection phytosanitaire, et le recours ou non à l'irrigation (Tardivo, 2016).**

Ce modèle bio-économique utilise la caractérisation des activités agricoles présentes sur le plateau de Valensole réalisée par Tardivo (2016). Cette base de données a été complétée par Hitane (2018), qui a ajouté les cultures de pois chiche et féverole, puis par moi-même avec la luzerne et la déclinaison du lavandin en lavandin dépéri et enherbé, ainsi que d'autres combinaisons d'itinéraires techniques (blé dur en semis direct, plus de souplesse dans les précédents culturaux...). Tous ces ajouts ont été réalisés sur la base des entretiens avec les acteurs, les agriculteurs et de la bibliographie (PVD, 2018; Schneider et Huyghe, 2015) pour assouplir le modèle et représenter davantage de pratiques du plateau, même si elles ne sont pas encore très développées comme l'enherbement du lavandin.

- Augmentation des choix pour le modèle : les activités agricoles de la base de données initiale considéraient que chaque culture était forcément précédée et suivie par un blé dur. Pour davantage représenter l'ensemble de possibles, nous avons donc ajouté plus de souplesse en autorisant un colza après un pois ou encore un tournesol avant un lavandin par exemple.

- Ajout de la luzerne, en sec ou en irrigué et cultivée sur 5 ans : ce choix a été motivé par le fait que cette culture représente une grande part de l'assolement de l'agriculteur en polyculture-élevage et ajoute une légumineuse fourragère dans les possibilités, famille où seul le sainfoin était représenté.

- Déclinaison du lavandin « sain » en deux autres catégories pour l'exploitation au nord du plateau : (a) dépéri et (b) avec un enherbement sur 1/3 de l'inter-rang (soit 60 cm). A noter que les données sur l'enherbement du lavandin sont encore peu nombreuses. Nous avons donc choisi de nous concentrer sur un enherbement mono-spécifique semé : le triticale, avec un objectif de réduction des symptômes de dépérissement. La gestion est donc spécifique : la culture est détruite chimiquement à la fin du printemps mais laissée en place pour créer une barrière physique contre la cicadelle, vecteur du phytoplasme du stolbur. Seules les deux premières années de cultures de lavandin sont enherbées puisqu'il s'agit de la période critique de contamination (CRIEPPAM, communication personnelle, cf Annexe 1). Nous avons également revu l'évolution des rendements du lavandin avec Marie Fontaine (Criepam) d'après le travail de Tardivo (2016) (voir Figure 6). Pour les rendements du lavandin enherbé, nous avons fait l'hypothèse que la diminution des symptômes espérée permet de considérer un niveau de rendement intermédiaire correspondant à une pression moyenne de dépérissement décrite par Tardivo (2016). Enfin, la possibilité d'arracher le lavandin a été ajoutée à partir la troisième année de culture (soit après la seconde récolte), puisqu'avant on ne pouvait pas l'arracher avant la dixième année de culture.

Une activité correspond à une espèce cultivée et les pratiques associées ayant des performances spécifiques (le rendement, les coûts de production ou impacts environnementaux) (Hengsdijk et al. 1999).

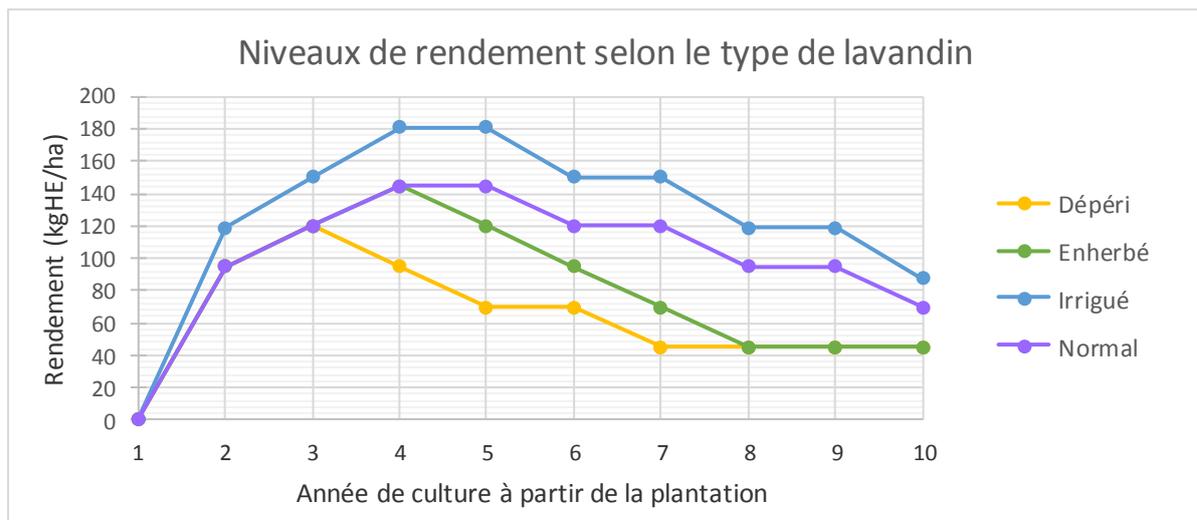


Figure 6 : Evolution du rendement en huile essentielle pour les quatre types de lavandin : normal, irrigué, dépéri, enherbé (d'après Tardivo (2016) et CRIEPPAM (cf annexe 1)).

Le *Tableau 1* ci-dessous montre quelles sont les modalités possibles pour les sept éléments définissant une activité agricole. Les possibilités ajoutées par Hitane (2018) puis par moi-même sont respectivement signalées par une ou deux étoiles. Celles n'en comportant pas sont les modalités initiales définies par Tardivo (2016). A noter toutefois que toutes les combinaisons ne sont pas possibles pour des raisons agronomique (pas de succession de deux cultures de la même famille (hormis les céréales) par exemple), ou simplement parce qu'elles sont peu ou pas pratiquées dans la région comme irriguer de la sauge sclarée. Une activité peut donc être par exemple un blé dur suivant un pois avec une préparation du sol par disques, un semis classique, une fertilisation alternative, une protection phytosanitaire de référence moyenne et cultivé en sec (en jaune dans le tableau). L'ensemble des activités agricoles représente 815 possibilités dans la base de données.

Pour des raisons de simplification, quelques hypothèses sont posées pour alléger la prise en compte du contexte pédo-climatique dans les activités agricoles. Nous avons choisi de ne conserver qu'un niveau moyen de réserve utile à 60 mm sur l'ensemble du plateau de Valensole comme suggéré par l'étude menée par les étudiants de PVD (2018) à la place des trois niveaux (faible, moyenne et élevée) définis par Tardivo (2016). De plus, la base de données renseigne un rendement moyen par activité pour un climat moyen, alors que dans sa thèse, Tardivo considérait trois niveaux de climat (printemps humide, printemps moyen ou printemps sec). La variabilité liée au climat (et à la réserve utile) est alors en partie simulée par le paramètre « variabilité du rendement » dans les paramètres du modèle. La variabilité des prix et des rendements représente le risque que peut comporter une activité agricole pour l'agriculteur et joue donc sur le choix des activités par le modèle. Plus le prix et/ou le rendement d'une culture est variable, plus la culture est considérée comme risquée. Nous reviendrons sur cette notion de risque et de variabilité dans la partie II.C.4 avec la calibration du modèle.

Tableau 1 : Possibilités des sept caractéristiques d'une activité agricole, les cases en jaune représentent un exemple de combinaison formant une activité. Les éléments avec une étoile (*) sont ceux ajoutés par Hitane (2018), ceux ayant deux étoiles (**) ont été rajoutés par moi-même. Il existe 815 activités (i.e. combinaisons) dans la base de données.

Culture	Précédent	Préparation	Semis/plant	Fertilisation	Phytoprotecteur	Irrigation
Blé dur	Blé dur	Passage de disques	Semis classique	Fertilisation de référence	Protection de référence à dose élevée	Enrouleur
Colza	Colza	Labour	Semis direct *	Fertilisation alternative	Protection de référence à dose moyenne	Pivot
Féverole *	Féverole *	Glyphosate	Plants traditionnels	Pas de fertilisation	Protection de référence à dose faible	Sec
Lavandin (1 à 10 ans) Sain, déperit** ou enherbé**	Lavandin (1 à 10 ans) Sain, déperit** ou enherbé**	Aucune préparation	Plants sains		Protection alternative à dose élevée	
Luzerne ** (1 à 5 ans)	Luzerne ** (1 à 5 ans)				Protection alternative à dose moyenne	
Pois	Pois				Protection alternative à dose faible	
Pois chiche *	Pois chiche *					
Sainfoin (1 à 2 ans)	Sainfoin (1 à 2 ans)					
Sauge sclarée (1 à 3 ans)	Sauge sclarée (1 à 3 ans)					
Tournesol	Tournesol					

La variable de décision du modèle est l'assolement proposé en sortie, soit un choix de plusieurs activités agricoles, chacune étant représentée par une surface propre. Cette combinaison est ainsi considérée comme optimale par le modèle pour assurer un revenu global maximum. A partir de cet assolement, on peut alors analyser deux volets d'indicateurs : le volet économique et le volet impact environnemental. Dans le volet économique on retrouve la marge brute, calculée avec les aides PAC, et le revenu global qui est la fonction objectif, c'est-à-dire dont on cherche à maximiser la valeur. C'est donc la fonction d'utilité, calculée à partir de la marge brute espérée pondérée par la variabilité de la marge brute (calculée selon la variabilité des prix et des rendements) et l'aversion au risque de l'agriculteur (*Équation 1*) (Hitane, 2018).

Équation 1 : Fonction objectif du modèle

$$U = Z - \phi VStZ$$

Avec,

U : Fonction objectif

ϕ : coefficient d'aversion au risque

Z : Espérance de la marge brute de l'exploitation

VStZ : variation standart de la marge brute totale

Pour affiner le volet « indicateurs économiques » détaillé ci-dessus, nous ajoutons un indicateur d'indépendance aux aides de la PAC. Cet indicateur de performance économique est l'opposé du rapport entre la somme des aides touchées et la marge brute totale en pourcentage (*Équation 2*). Un résultat faible indique un système peu performant avec une forte dépendance aux aides (Hitane, 2018).

Équation 2 : Calcul de l'indépendance aux aides PAC.

$$IND = \left(1 - \frac{SA}{MB}\right) * 100$$

Avec,

IND : Indépendance aux aides PAC (%)

MB : Marge brute de l'exploitation

SA : Somme de toutes les aides PAC

Concernant le volet impact environnemental, on s'intéresse à plusieurs indicateurs à l'échelle de l'exploitation : la consommation d'énergie, les émissions de gaz à effet de serre (GES) ou encore l'IFT (Indicateur de Fréquence de Traitement) sur l'exploitation. Pour chaque activité agricole, à partir de l'itinéraire technique (passages de machines, pesticides appliqués, engrais apportés et leur volatilisation...), ces indicateurs sont calculés avec des coefficients de conversion issus de la thèse de C. Tardivo (2016). Plus précisément pour l'IFT, on somme pour chaque activité agricole le nombre de traitements phytosanitaires pondéré par la dose d'application par rapport à la dose homologuée. Pour passer à l'échelle de l'exploitation, on fait alors la moyenne pondérée par la surface pour chaque indicateur selon la surface associée à chaque activité (Équation 3).

Équation 3 : Calcul de l'indice de fréquence de traitements (IFT).

$$IFT = \frac{1}{SAU} * \sum_c X_c * \sum_i \frac{DA_i}{DH_i}$$

Avec,

IFT : indice de fréquence de traitement
moyen sur l'exploitation

DA_i : dose appliquée du produit i pour la
culture c

SAU : surface agricole utile (ha)

DH_i : dose homologuée du produit i pour la
culture c

X_c : surface de la culture c (ha)

A noter que ce modèle est statique, c'est-à-dire qu'il ne simule que l'évolution d'une année n-1 (l'assolement initial) à une année n (l'assolement de sortie). Le modèle ne permet donc pas des projections à moyen terme, ni la simulation de rotations à proprement parler. Ainsi, l'assolement simulé dépendra de possibilités des couples culture précédente – culture suivante, et d'éventuelles contraintes sur des surfaces minimales/maximales pour certaines cultures ou groupes de cultures.

C. Caractéristiques des trois exploitations choisies et calibration

Les trois exploitations agricoles choisies cherchent à illustrer la diversité des agrosystèmes que l'on peut rencontrer sur le plateau de Valensole avec des problématiques et des enjeux différents. Ces caractéristiques peuvent être reliées à un espace plus ou moins bien défini comme le réseau d'irrigation de la SCP situé au sud-est ou la zone de dépérissement du lavandin, plus présent au nord-est, ou bien sans facteur explicite de localisation comme l'association d'une activité d'élevage.

1. L'exploitation agricole n°1 : céréalier-lavandiculteur avec accès à l'irrigation

La première exploitation agricole (que nous appellerons EA1) est spécialisée en céréales et lavandiculture mais a surtout comme caractéristique spécifique d'avoir accès au réseau d'irrigation de la SCP. L'assolement initial entré dans le modèle est présenté en Figure 7.A. Il est ici indiqué en pourcentage de la SAU considérée, soit 224 ha dont 91 ha sont irrigables. A noter que nous avons retiré ici les cultures qui ne sont pas renseignées dans la base de données comme certaines PPAM (immortelle, coriandre...), l'arboriculture ou encore les jachères et SIE (surfaces d'intérêt écologique), soit environ 35 ha de retirés.

L'irrigation permet d'avoir une assurance en cas de sécheresse sur les cultures annuelles et d'assurer un bon redémarrage du lavandin en l'arrosant après la récolte. Mais en dépassant ce concept d'assurance et en adaptant tout l'itinéraire technique, dès le semis pour les céréales, et notamment le blé dur, avec l'objectif d'irriguer le couvert sans attendre d'être en important déficit hydrique, on peut nettement améliorer les rendements. Dans le cas de cette exploitation, nous avons bien deux itinéraires techniques différents, adaptés pour les cultures irriguées et les cultures en sec. Toutefois, même si cet agriculteur n'est pas le seul à repenser son itinéraire technique pour les cultures irriguées, ce n'est pas le cas de la plupart des autres exploitations ayant accès au réseau d'irrigation de la SCP.

Il faut également mettre en avant que cet agriculteur présente déjà une grande diversité de cultures sur son exploitation, notamment en termes de légumineuses à graines (féverole, pois chiche, lentille (non représentée ici) et pois) avec 18% de sa SAU pour l'assolement initial. Cette forte proportion de légumineuse n'est encore une fois pas représentative des pratiques de la plupart des agriculteurs de cette zone sud est du plateau. Cette diversification se limite pourtant aux légumineuses à graines et ne concerne pas les légumineuses fourragères car l'agriculteur n'a pas le matériel nécessaire pour cultiver ces dernières et ne souhaite pas travailler avec des éleveurs.

2. L'exploitation agricole n°2 : les conditions du nord du plateau

La deuxième exploitation agricole (EA2) que nous avons prise comme exemple est située au nord du plateau de Valensole, zone principalement caractérisée par une forte pression du dépérissement du lavandin et l'impossibilité d'irriguer. Cette partie du plateau est historiquement très intensive en lavandin avec des délais de retour très courts avec par exemple juste une culture de blé dur entre deux plantations de lavandin (voire inexistantes autrefois) ce qui aurait aggravé la problématique du dépérissement. Aujourd'hui, diversifier les assolements devient donc une nécessité mais les possibilités sont limitées par l'absence d'irrigation.

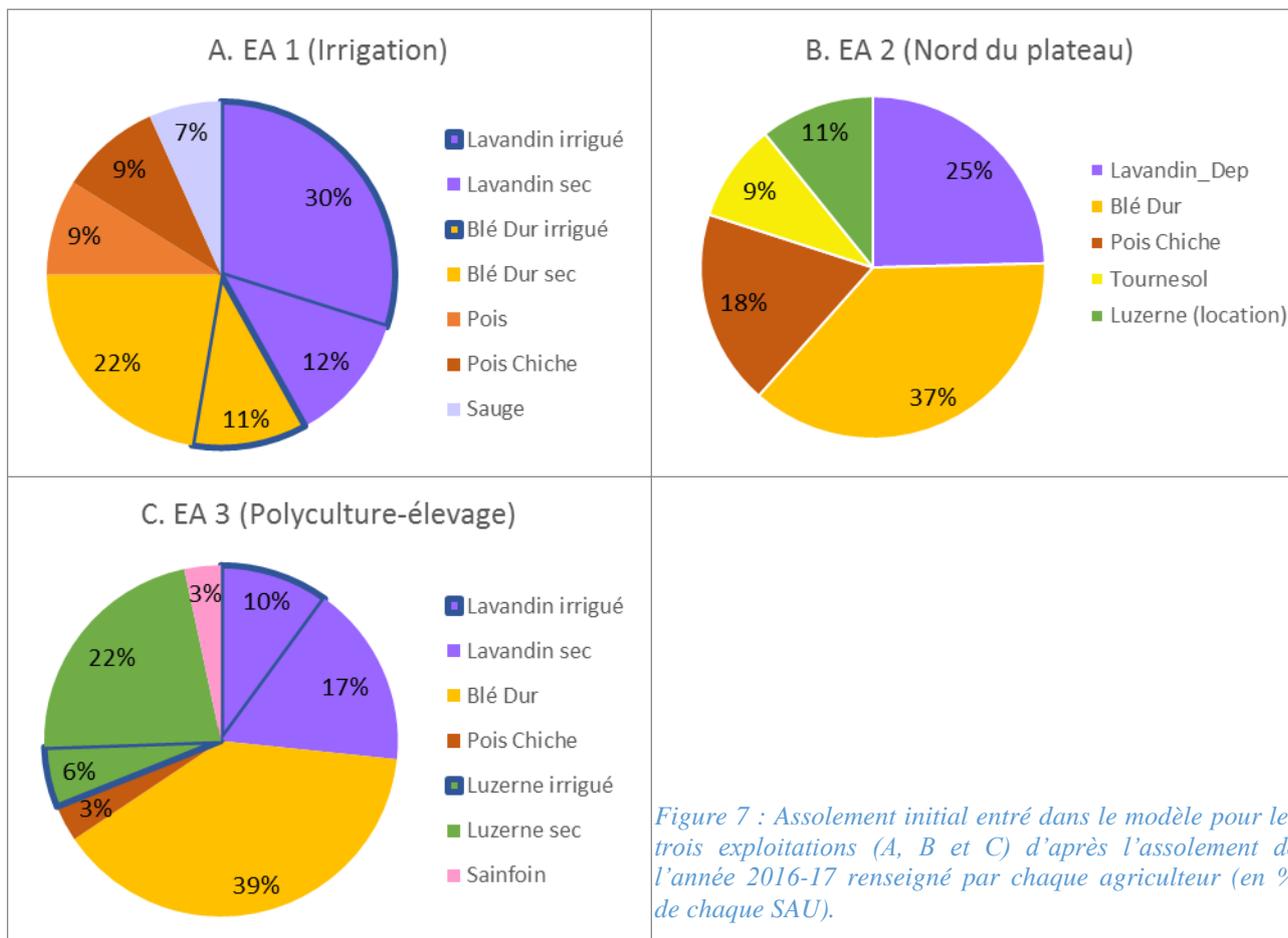
L'exploitation choisie pour ce cas présente quelques singularités à prendre en compte avant de généraliser : il s'agit d'un jeune exploitant qui n'a pas encore atteint un rythme de croisière avec une rotation-cadre² puisqu'il plante environ 6 ha de lavandin depuis quatre ans seulement avec l'objectif d'atteindre la moitié de sa SAU totale réelle (soit environ 40 ha). Il n'a donc pas encore pu réaliser une rotation complète. De même que l'agriculteur présenté précédemment, il est aussi atypique par la forte proportion de légumineuses dans son assolement, à graine ou fourragère. A noter que la luzerne renseignée ici est cultivée par un éleveur à qui il loue quelques hectares pour 200 €/ha/an. Comme précédemment, cet agriculteur ne possède pas le matériel pour cultiver des légumineuses fourragères, c'est pour cela qu'il travaille avec un éleveur en lui louant quelques hectares. L'assolement (en % SAU considéré, soit 65 ha en retirant les 15 ha de cultures comme les truffières et SIE) renseigné pour initialiser le modèle est présenté en *Figure 7.B*.

3. L'exploitation agricole n°3 : le cas polyculture-élevage

La troisième exploitation (EA3) prend en compte une autre dimension agricole : l'élevage ovin, relativement bien présent sur le plateau. Si les éleveurs et pâturages sont davantage présents sur l'ouest du plateau, partie non irrigable et faiblement touchée par le dépérissement, il est difficile d'être aussi affirmatif pour les exploitations y associant de la production végétale. Pour cette catégorie d'exploitation, au-delà de l'enjeu financier, il faut produire suffisamment de fourrage

² Rotation cadre : un assolement évoluant peu d'une année sur l'autre avec une succession des cultures définies à l'avance par l'agriculteur en se projetant à moyen terme

pour nourrir le troupeau l’hiver. Ici, nous retiendrons surtout comme point de vigilance que l’agriculteur pris comme exemple a la possibilité d’irriguer ses cultures grâce à une retenue collinaire. A noter également qu’il est en phase de plantation de lavandin depuis peu de temps avec des lavandins assez jeunes comme pour l’EA 2. La Figure 7.C montre l’assolement initial pour cette troisième exploitation agricole en pourcentage de la SAU avec les cultures prises en compte (soit 90 ha dont 20 ha irrigables) en ne prenant en compte que les cultures renseignées dans la base de données (en excluant donc 15 ha de cultures d’orge et prairies temporaires pratiquées par cet éleveur).



4. Calibration de chaque exploitation agricole

Avant de réaliser les simulations, nous devons calibrer le modèle pour qu’il reflète au mieux les décisions que prend l’agriculteur. On considère la calibration optimale lorsque l’assolement de sortie est le plus proche possible de l’assolement observé cette année (2017-18) puisque l’assolement considéré comme initial est celui de l’an dernier (2016-17).

Comme expliqué à la fin de la partie II.A, le modèle cherche à maximiser le revenu global, soit la marge brute totale pondérée par la variabilité des prix et des rendements et par l’aversion au risque de l’agriculteur. Dans cette analyse de sensibilité nous allons donc chercher à déterminer le niveau d’aversion au risque de chaque exploitant. Nous suivons donc l’évolution des décisions du modèle suivant l’évolution de l’aversion au risque entre 0 et 2, avec 0 une situation où l’agriculteur ne prend pas du tout en compte le risque (les décisions sont indépendantes des variabilités de rendement et de prix de vente), et 2 une situation où l’agriculteur est très averse au risque, c’est-à-

dire qu'il cherche la solution la plus sécurisante (*Hitane, 2018*). Mais si la seule variation du coefficient d'aversion au risque était suffisante pour calibrer la première exploitation agricole lors du travail de Hitane (*2018*), l'ajout de nombreuses activités agricoles, et la levée de certaines contraintes, ont autorisé le modèle à proposer plus facilement des cultures très peu présentes actuellement sur le plateau de Valensole comme le pois chiche ou le colza. En effet, ces cultures peuvent désormais suivre d'autres cultures que le blé dur, contrainte qui limitait initialement leur proportion dans les simulations mais qui ne représentait pas les possibilités de pratiques des agricultures. De plus, ces cultures sont renseignées dans la base de données avec des itinéraires techniques suivis par quelques agriculteurs du plateau ayant une bonne maîtrise de ces cultures, et donc les rendements renseignés sont plus élevés que ceux qu'obtiendraient un agriculteur pratiquant cette culture pour la première fois (*Tardivo, 2016*). Les pourcentages de variabilité des prix et des rendements renseignés en paramètres ont été calculés d'après des données régionales des mémentos de la statistique agricole de la région PACA d'Agreste de 2007 à 2016 (disponibles sur <http://agreste.agriculture.gouv.fr/en-region/provence-alpes-cote-d-azur/>) (*Hitane, 2018*) mais peuvent comporter un biais par rapport au contexte spécifique du plateau de Valensole.

Une analyse de sensibilité uniquement sur différents niveaux d'aversion au risque n'étant alors plus suffisante, sur les conseils d'Hatem Belhoucette (agro-économiste de l'IAMM), nous avons également fait varier les variabilités des prix et des rendements des cultures sur- et sous-représentées selon deux hypothèses : une culture très présente comme le blé dur, même si elle est peu rentable, s'inscrit dans une filière sécurisée et est bien maîtrisée. On peut donc estimer que les variabilités des prix et des rendements sont surestimées dans les données régionales par rapport à la réalité du territoire et pourraient donc être réduites dans le modèle. A l'inverse, les cultures peu présentes sur le plateau sont peu maîtrisées et avec des filières instables (comme c'est le cas pour les légumineuses à graines) donc avec des variabilités de prix et de rendement ressenties par l'agriculteur comme plus élevées que la moyenne régionale puisque ces cultures sont plus risquées pour lui.

De plus, comme le lavandin n'est productif qu'à partir de la deuxième année de culture, l'activité agricole « lavandin 1 » n'est pas rentable pour le modèle qui ne voit que les coûts de mise en place et de conduite mais n'intègre pas la rentabilité des années futures. Auparavant, le modèle était construit de sorte que 10 ha soit systématiquement plantés chaque année, ce qui représentait une contrainte forte du modèle. Nous avons donc construit une règle de décision pour que le modèle choisisse le nombre d'hectares de lavandin à planter (*Équation 4*). Etant donné que le modèle est statique, et nous faisons l'hypothèse que (1) la surface dédiée au lavandin la première année sera tributaire de la rentabilité globale de l'ensemble des parcelles présentes au niveau de l'exploitation. Plus la part du revenu assuré par le lavandin est importante par rapport au revenu global (toutes cultures confondues) plus la surface du lavandin la première année est importante. Dans le modèle nous définissons une variable α (2) qui détermine le ratio entre le revenu assuré par l'ensemble des lavandins (y compris la première année) et le revenu global de l'exploitation. Néanmoins, nous savons que le modèle ne pourra pas cultiver que du lavandin, à cause des contraintes de l'exploitation notamment de main d'œuvre et de rotation. Pour mieux caler la surface du lavandin planté nous ajustons la pente exprimée par α en le multipliant par un coefficient ω qui affine le lien entre la SAU totale, le ratio du revenu généré par le lavandin avec le revenu total et la surface en lavandin de première année à planter pour nous approcher le plus possible de la surface en lavandin réellement plantée cette année. Nous ajoutons également une consigne supplémentaire (3) disant que les charges de plantation (et notamment de main d'œuvre) ne doivent pas dépasser le revenu global de l'exploitation.

Équation 4 : Equations permettant une plantation spontanée de lavandin (1) selon la rentabilité des lavandins déjà plantés et leur part dans la marge brute globale de l'exploitation (2) en limitant économiquement la plantation à la marge brute globale (3).

$$X_{Lav\ i} = \omega * \alpha * SAU \quad (1)$$

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^n X_{Lav\ i} * MB_{Lav\ i}}{Z} \quad (2)$$

$$X_{Lav\ i} * ChP_{Lav\ i} \leq Z \quad (3)$$

Avec,

$X_{Lav\ i}$: Surface en lavandin de l'année i ($i \in [1 : 10]$) (ha)

$MB_{Lav\ i}$: Marge brute du lavandin d'année i (€/ha)

$ChP_{Lav\ i}$: Charge de plantation de lavandin i (€/ha)

SAU : Surface agricole utile (ha)

Z : Espérance de la marge brute de l'exploitation (€)

α : Variable de rentabilité

ω : **Coefficient de plantation**

Pour résumer, **pour calibrer chaque exploitation** (soit rendre similaire l'assolement simulé et l'assolement observé chez l'agriculteur) nous déterminerons manuellement et de manière itérative quatre paramètres :

- le coefficient de plantation du lavandin ;
- les pourcentages de variabilité de prix et de rendement ;
- le prix de vente du blé dur (si besoin pour en obtenir une surface suffisante) ;
- le degré d'aversion au risque.

D. Plan de simulation

L'objectif de ce modèle est de simuler des évolutions possibles sur le plateau de Valensole et étudier les effets pour les différentes exploitations agricoles, en terme d'assolement mais aussi d'un point de vue économique et agro-environnemental. Avant d'utiliser le modèle pour étudier des scénarios complexes ou plusieurs évolutions possibles sont croisées, nous étudions ici des simulations simples en analysant les effets de modifications indépendantes. Ces modifications sont regroupées en trois catégories : variabilité des marchés, changement dans les politiques publiques et évolution des techniques agricoles.

Pour chaque exploitation, nous répétons le protocole de chaque simulation pour : (a) les valeurs et de **variabilité** de prix et rendement déterminées lors de la **calibration** pour chaque exploitation et le prix de vente du blé dur modifié, puis (b) **les valeurs de variabilité régionales** pour pouvoir comparer plus facilement les exploitations entre elles avec le même prix de vente local du blé dur. Nous conserverons identiques dans ces deux cas a et b le niveau d'aversion au risque et le coefficient de plantation de lavandin, propres à chaque agriculteur et définis lors de la calibration. Ces deux éléments sont des paramètres qui définissent chaque exploitation au même titre que l'assolement initial ou la disponibilité de main d'œuvre par exemple et ne peuvent pas être considérés de manière régionale.

1. Modification des marchés sur le plateau

Comme l'état du marché, et notamment les prix de vente des cultures, est un élément déterminant pour beaucoup d'agriculteurs dans le choix des cultures, nous nous sommes intéressés à trois types de marché et ce qu'il se passerait s'ils évoluaient : le blé dur, le lavandin et les légumineuses à graines.

Comme expliqué dans la partie I.B, le blé dur et le lavandin sont les principales cultures du plateau de Valensole en occupant à eux deux 50% de la SAU. Mais le prix de vente du blé dur est faible ce qui décourage les agriculteurs qui préfèrent se porter sur le lavandin dont le prix de vente est très intéressant. Nous avons donc voulu observer l'effet qu'aurait une augmentation des prix du blé dur, et à l'inverse l'effet d'une diminution des prix du lavandin. En parallèle, les légumineuses à graines sont peu présentes sur le plateau malgré leurs intérêts agro-environnementaux. L'un des principaux freins étant l'instabilité du marché, nous avons également voulu analyser l'impact qu'aurait une augmentation des prix de ce type de culture : le pois, le pois chiche et la féverole.

Pour chacun de ces trois cas, nous faisons donc évoluer le prix de vente de la culture par pas de 5% pour observer les conséquences d'une modification progressive de l'environnement sur les cultures et activités agricoles.

2. Evolutions techniques

Pour répondre à la demande pressante des collectivités et des agriculteurs, la SCP va étendre son réseau d'irrigation, à terme, à l'ensemble du plateau de Valensole. L'objectif ici est donc d'étudier l'évolution du comportement des agriculteurs en modifiant les possibilités du modèle. Pour le type polyculture-élevage, on s'intéresse à l'effet du passage d'une eau d'irrigation « gratuite » provenant d'une réserve collinaire à l'eau payante de la SCP. Mais là où les plus grands changements sont attendus, c'est pour l'exploitation du nord du plateau sans accès à l'irrigation. On donne alors au modèle la possibilité de choisir des cultures irriguées. A noter toutefois que l'impact de l'irrigation sur le dépérissement n'est pas connu, et donc non quantifié. Comme vu avec les acteurs de Regain lors du Codir du 31/07/2018, on peut espérer une amélioration des rendements sans pour autant arriver à un niveau comparable à un lavandin sain. Nous ferons donc l'hypothèse que cette pratique permet d'atteindre un niveau de rendement intermédiaire, défini comme « dépérissement moyen » par Tardivo (2016) (voir *Figure 6*).

La seconde évolution technique que nous considérons ici concerne également l'exploitation du nord du plateau en considérant le développement de l'enherbement du lavandin. Comme expliqué plus tôt, l'enherbement est ici pensé comme un frein au dépérissement ce qui nous permet de considérer un niveau de rendement intermédiaire entre le lavandin normal et le lavandin touché par le dépérissement (voir *Figure 6*).

L'objectif est donc ici de comparer la situation initiale de cette exploitation 2, caractérisée par une impossibilité d'irriguer et une forte pression du dépérissement, avec différents leviers techniques : l'accès à l'irrigation et le développement de l'enherbement du lavandin. On s'intéressera comme dans les autres cas au suivi des indicateurs économiques et d'impact agro-environnemental. Il aurait été intéressant d'étudier les conséquences du croisement de l'accès à l'irrigation et de l'enherbement du lavandin dans les choix de l'agriculteur, mais cela nous pousserait à faire des hypothèses trop importantes par rapport aux connaissances techniques actuelles sur les relations entre dépérissement et l'évolution du rendement du lavandin.

3. Changement des politiques publiques

Dans ce troisième volet, après le contexte économique nous nous intéressons à de possibles évolutions du contexte législatif. L'évolution considérée ici est la mise en place d'une réglementation stricte sur la diminution de l'IFT qui pourrait s'inscrire dans le cadre du plan Ecophyto. Cette thématique, déjà abordée par Hitane (2018), est reprise ici car la rigidité du modèle et le peu de possibilité poussait le modèle à ne rien cultiver sur une part importante de la SAU, ce qui n'est pas réaliste. On atteignait donc les limites du modèle initial et de son domaine de validité. Ici, nous avons élargi les possibilités du modèle et devrions donc pouvoir suivre plus finement l'évolution de l'assolement par exploitation mais aussi des choix en termes de pratiques agricoles en suivant davantage la stratégie de protection phytosanitaire. On imposera une diminution progressive de l'IFT de l'état actuel avec un pas de 5% jusqu'à atteindre une diminution de 50% de l'IFT, correspondant à l'objectif du plan Ecophyto.

III. Résultats

Nous présenterons dans cette partie deux types de résultats obtenus dans cette étude : la calibration du modèle pour chaque exploitation (soit une calibration par exploitation) et les performances de chacune dans leur état actuel (*i.e.* représentant les agrosystèmes aujourd'hui et donc avant les simulations), et les simulations : modification des marchés, innovations techniques et évolution des politiques publiques.

A. Calibration du modèle et performance des exploitations agricoles à l'état actuel

1. Calibration du modèle pour chaque exploitation

Avant de pouvoir simuler des changements sur le plateau de Valensole avec le modèle, nous avons dû le calibrer pour qu'il reproduise le comportement de chacun des trois agriculteurs étudiés. Pour chaque exploitation agricole (EA), la calibration porte sur quatre critères : la variabilité des prix de vente et des rendements des différentes cultures (*Tableau 2*), la capacité à planter du lavandin selon la rentabilité des parcelles déjà en place, le prix de vente du blé dur et l'aversion au risque (*Tableau 3*). Dans ces deux tableaux, la colonne « régional » indique la valeur de référence de chaque critère avant calibration (quand elle existe).

Les valeurs de calibrations des *Tableau 2* et *Tableau 3* sont définies pour obtenir le plus petit écart possible entre l'assolement de sortie du modèle et celui observé chez l'agriculteur pour cette année. L'écart est considéré comme acceptable s'il est inférieur à 0,5 ha et/ou 5%, l'obtention des deux critères n'étant pas toujours possible, notamment pour le cas de cultures absentes de l'assolement observé (comme le colza dans les trois exploitations) où il n'est donc pas possible de calculer un pourcentage de différence. Pour les cultures représentées par des petites surfaces, il est également difficile d'obtenir un petit écart en pourcents (comme le sainfoin pour EA3), ou à l'inverse sur les grandes surfaces, un écart inférieur à 0,5 ha est plus difficile à obtenir qu'un écart de moins de 5% (comme pour le blé dur sur l'EA1). Le détail des différences par culture et par exploitation entre assolement observé et assolement de sortie est disponible en Annexe 2a.

Tableau 2 : Pourcentages de variabilité des prix et des rendements par culture. Les valeurs régionales sont celles de référence (Hitane, 2018) et celles par EA sont issues de la calibration de chacune des exploitations (EA1 : zone irrigable ; EA2 : zone avec dépérissement ; EA3 : polyculture-élevage). Les cultures grisées indiquent une absence de modification. A noter que pour les pérennes, la variabilité est la même pour toutes les années, sauf mention contraire pour la première année. L'absence de valeurs (-) signifie que les cultures ne sont pas possibles pour les EA concernées.

Variabilité	des prix de vente (%)				des rendements (%)			
	Régional	EA 1	EA 2	EA 3	Régional	EA 1	EA 2	EA 3
Blé dur	19	1	1	7	12	1	1	12
Lavandin	15	15	15	15	19	19	19	19
Sauge	12	12	12	12	24	24	24	24
Colza	20	400	390	800	18	400	380	600
Tournesol	19	19	19	19	21	21	21	21
Pois	15	85	260	800	19	85	250	600
Pois chiche	15	80	75	280	19	50	65	19
Féverole	22	150	450	1000	25	150	480	500
Sainfoin 1	28	-	-	220	28	-	-	220
Sainfoin	28	-	-	28	28	-	-	28
Luzerne 1	28	-	-	1	28	-	-	1
Luzerne	28	-	-	28	28	-	-	28

Tableau 3 : Valeurs de calibration des trois autres paramètres d'intérêt : le coefficient de plantation de lavandin (entre 0 et 1, 1 correspondant à une grande surface plantée), le prix de vente du blé dur (en €/qt) et le coefficient d'aversion au risque (entre 0 et 2 ; 2 correspondant au plus sensible au risque).

Autres paramètres de calibration	Régional	EA 1	EA 2	EA 3
Coef. Plantation lavandin	-	0,16	0,25	0,20
Prix de vente du Blé dur (€/Qt)	22,5	25	25,5	24
Coef. D'aversion au risque	-	1,56	1,57	0,90

On constate que pour « empêcher » le modèle de choisir certaines cultures, il a fallu considérablement augmenter la variabilité des prix et des rendements, notamment sur le colza : en passant de 20 et 18% pour l'échelle régionale à des variabilités allant de 380 à 800% en calibration. L'augmentation de ces variabilités est moindre lorsqu'on souhaite obtenir une surface minimum, comme pour le pois sur la première exploitation où on passe de 15% de variabilité régionale du prix à 85% (sur l'EA1 donc) contre un passage à 800% sur l'EA3 qui n'en plante pas.

A l'inverse, pour forcer le modèle à proposer certaines cultures moins rentables que d'autres dans la base de données, comme le blé ou la luzerne de 1^{ère} année, il a fallu fortement diminuer leur variabilité, en allant jusqu'à 1% de variabilité de prix de vente et de rendement pour le blé dur pour la deuxième exploitation. Pour respecter la surface de blé dur observée (2017-18) avec l'assolement initial (2016-17), la seule possibilité est de réaliser une succession blé dur – blé dur, trop peu rentable pour être choisie par le modèle. C'est pour cela que pour ce cas nous avons augmenté légèrement le prix de vente de cette culture en passant de 22,50€/qt à 25 ; 25,50 et 24€/qt

respectivement pour chaque EA.

Il est intéressant de noter que le coefficient d'aversion au risque varie assez entre les exploitations, passant de 0,90 dans le EA3, soit un agriculteur tenant le moins compte du risque, à 1,56 et 1,57 pour EA1 et EA2, soit une forte sensibilité à la variabilité des prix et des rendements pour les deux lavandiculteurs-céréaliers³.

2. Caractéristiques simulées de l'état actuel de chaque exploitation

Les résultats de la calibration du modèle sur chaque exploitation permettent de caractériser l'état considéré comme actuel pour chaque exploitation est la situation de référence pour chaque simulation en terme d'assolement et de performance. La *Figure 8* ci-dessous montre l'assolement de sortie pour chacune des trois exploitations agricoles étudiées, correspondant à l'assolement observé chez chaque agriculteur pour la campagne 2017-18. On rappelle que ces assolements sont exprimés en pourcentage de la SAU limitée aux cultures prises en compte par le modèle, soit 224 ha pour EA1, 65 ha pour EA2 et 90 ha pour EA3 (cf partie II.C).

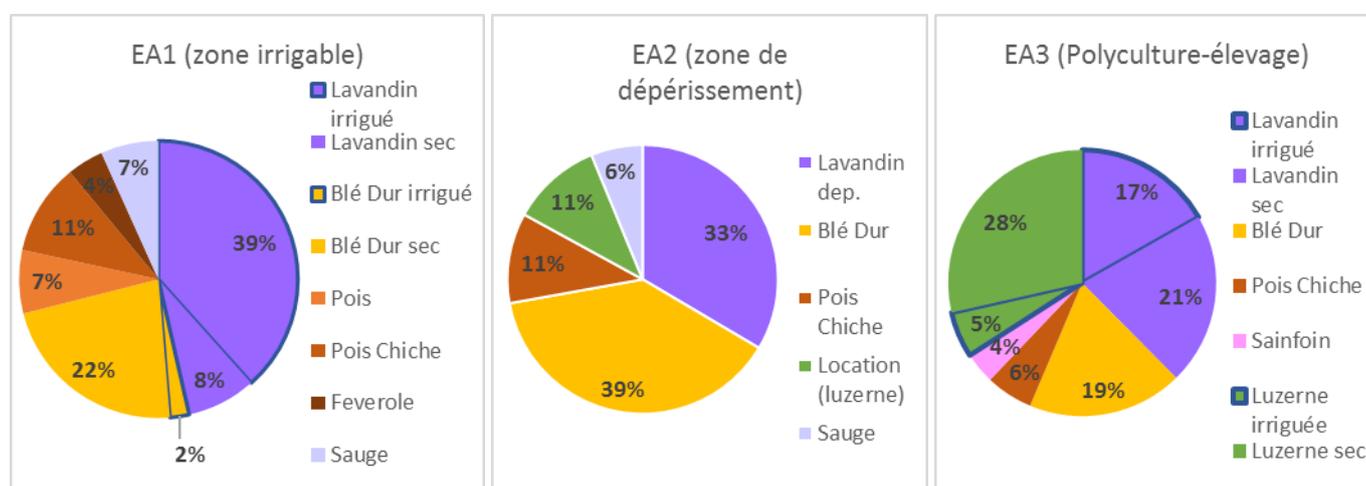


Figure 8 : Assolement en fin de calibration par exploitation agricole en % SAU considérée pour chaque EA (EA1 : 224ha, EA2 : 65ha, EA3 : 90ha).

On constate que pour les trois exploitations, la part de légumineuses est relativement importante, allant de 22% pour les EA1 et 2 à 33% pour l'EA3. L'exploitation 1 présente une part très importante de lavandin, 47% de sa SAU. Etant donné que c'est pour cette exploitation 1 que la marge brute à l'hectare est la plus importante en regardant le *Tableau 4* ci-dessous, on met en avant que cette performance est liée à la forte rentabilité du lavandin, très présent dans l'EA1. A l'inverse, l'exploitation 2 cultive principalement du blé dur, mais aussi des jeunes plants de lavandin (et de sauge), en zone avec dépérissement donc avec des rendements plus faibles. Ceci explique pourquoi cette exploitation a la plus faible marge brute par hectare. L'exploitation 3 présente une surface presque équivalente de lavandin et de luzerne, ce qui est cohérent avec sa double orientation polyculture-élevage.

Les trois exploitations agricoles sont assez indépendantes économiquement des subventions PAC, de 72% à 60% d'indépendance. On peut relier ce résultat à la forte présence de lavandin sur

³ On rappelle que le coefficient d'aversion au risque se situe sur une échelle de 0 à 2, 0 correspondant à une absence de considération du risque et 2 à une forte sensibilité au risque et donc un choix pour des cultures à faibles variabilités de prix et de rendement.

ces exploitations, cultures rémunératrices et pour lesquelles les agriculteurs ne touchent pas d'aides couplées. A l'inverse, les légumineuses et le blé dur permettent de toucher une aide couplée ce qui augmente la part d'aides dans le revenu, et donc la dépendance de l'agriculteur à ces aides PAC. A noter que les aides PAC (comprenant les aides couplées, les droits à paiement de base, le paiement vert, les surprimes et, le cas échéant, l'ICHN (Indemnité Compensatoire de Handicap Naturel) ou les aides jeune agriculteur) touchées par les agriculteurs sont comprises dans le calcul de la marge brute et du revenu global.

Concernant les indicateurs d'impact agro-environnemental des activités agricoles (*Tableau 4*). L'EA2 est celle qui présente le plus bas IFT mais aussi les plus hauts niveaux de consommation d'énergie et d'émission de GES. Ce résultat s'explique par une plus faible proportion de lavandin, dont l'IFT moyen est de 5,75 (pour les années 2 à 10 vs. 3 pour la première année). Par contre si le blé dur, très présent sur cette EA, a un IFT de 2,3 en moyenne pour les différentes activités possibles, l'émission de GES et la consommation d'énergie est plus importante à cause du plus grand nombre de passages d'engins et de la fertilisation. La différence d'impact agro-environnemental entre l'EA1 et l'EA3 s'explique par la présence de luzerne : cette culture a un très faible IFT mais surtout demande peu de fertilisation, ce qui produit moins de GES. Par contre le fait qu'il y ait plusieurs récoltes par an demandant l'intervention de plusieurs machines augmente la consommation d'énergie moyenne de l'exploitation (*Tableau 4*).

Tableau 4 : Indicateurs économiques (marge brute totale, revenu global, et indépendance aux aides calculée à partir de la marge brute totale) et agro-environnementaux (IFT, émission de gaz à effet de serre et consommation d'énergie) ramené à l'hectare sur chaque exploitation à l'état actuel.

Résultats et Indicateurs		EA1	EA2	EA3
Economiques	Marge brute (€/ha)	1 487	782	1 104
	Revenu global (€/ha)	1 597	709	1 037
	Dont aides PAC (€/ha)	450	315	375
	Indépendance aux aides (%)	72%	60%	66%
Agro-environnemental	IFT (Nb traitements à dose homologuée /ha)	2,56	1,95	2,01
	GES (TeqCO ₂ /ha)	1 117	1 265	1 038
	Energie (MJ/ha)	9 454	9 889	9 788

Cette calibration des exploitations est nécessaire pour comparer le résultat des simulations à un assolement et des performances similaires à la réalité pour chaque EA, pour que l'étude ait plus de sens pour les acteurs de Valensole. Mais au vu des forts écarts de variabilité de prix et de rendement, pour pouvoir comparer plus objectivement les exploitations entre elles, nous avons décidé de comparer la situation avec les variabilités calibrées et les variabilités régionales. Par contre, comme les coefficients de plantation de lavandin et d'aversion au risque ne sont pas régionalisés et peuvent être considérés comme une caractéristique propre de chaque exploitation agricole, ces valeurs seront identiques entre les situations calibrées et régionales de chaque exploitation agricole.

B. Simulations d'évolution des marchés économiques

1. Augmentation du prix du blé dur

Dans cette première simulation, on analyse l'impact d'une augmentation progressive des prix du blé dur à des pas de +5% jusqu'à +50%. La *Figure 9* ci-dessous montre les différences entre les simulations avec les valeurs de variabilités de prix et de rendements calibrées (A) et régionales (B) pour l'exemple de l'EA1. On constate que pour les valeurs calibrées de variabilité (A), l'augmentation de la surface de blé dur est progressive sur toute la série d'augmentation du prix du blé dur, sans pour autant être linéaire. Le blé dur remplace progressivement une partie des légumineuses à graines. Par contre dans la *Figure 9.B* on observe que la surface de blé dur n'augmente pas de manière linéaire avec l'augmentation des prix. En effet la modification de l'assolement (+ 8% de la SAU) ne se fait qu'en un seul pas : pour une augmentation de son prix de vente passant de +10% à +15% (soit 25,88 €/qt), et n'évolue plus si le prix continue d'augmenter. Cette augmentation de la part de blé dur se fait au détriment du pois chiche, sans évolution pour les autres cultures.

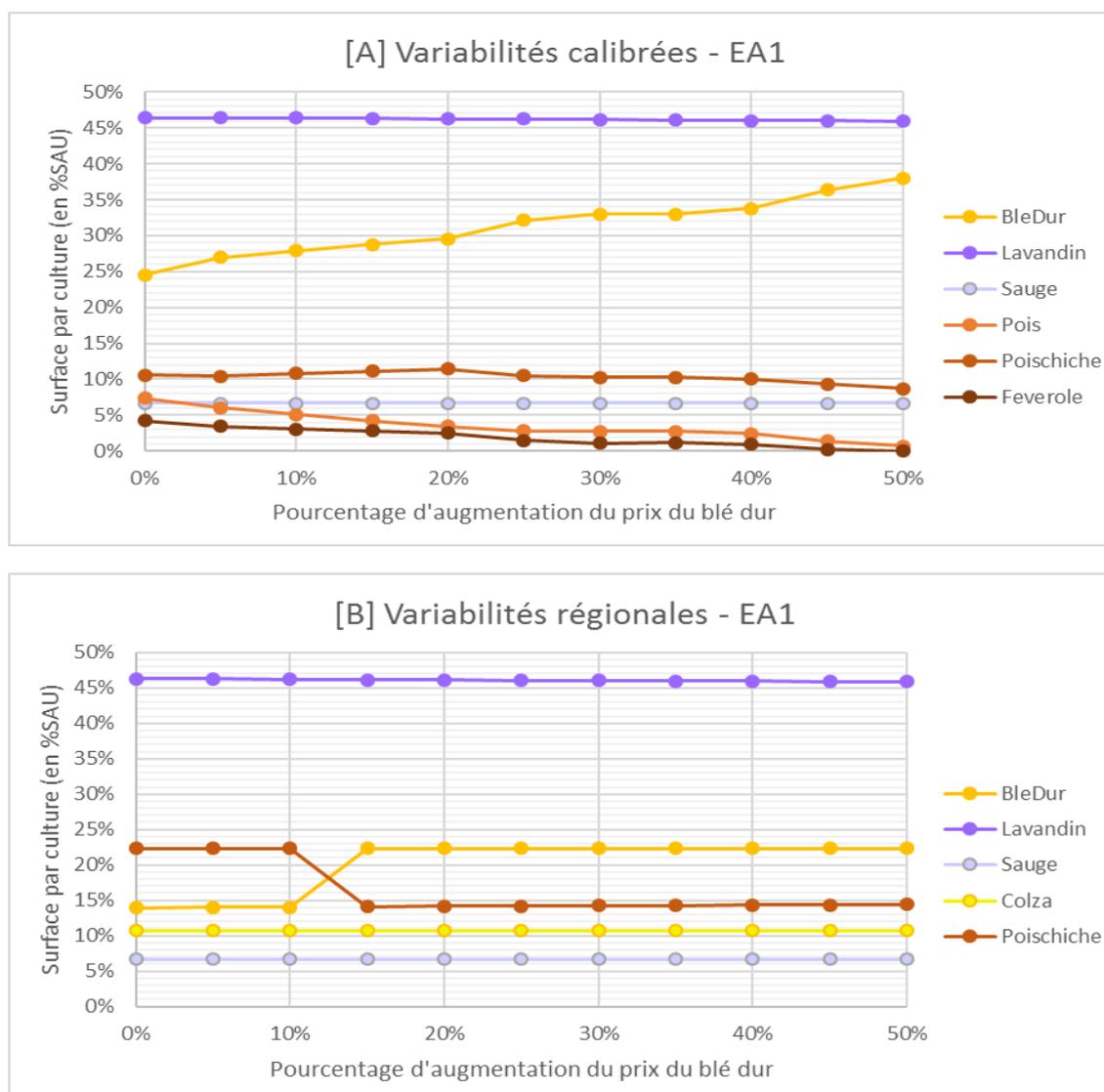


Figure 9 : Evolution des surfaces de chaque culture de l'EA 1 en augmentant le prix de blé dur, avec (A) les variabilités de prix et de rendements issues de la calibration et (B) les variabilités régionales.

L'évolution des assolements des EA2 et EA3 pour les cas des variabilités calibrées et régionales sont présentées en annexe 2b. Pour l'EA2 cas A (variabilités calibrées), on constate que l'augmentation des surfaces en blé dur est relativement linéaire en remplaçant du pois chiche jusqu'au seuil d'augmentation de 40% où le blé dur devient plus rentable que le lavandin et induit donc une diminution des surfaces en lavandin : on en plante moins et une partie des plus vieilles parcelles est arrachée. L'évolution est assez différente dans le cas B (variabilités régionales) : aucune modification de l'assolement n'est constatée avant une augmentation du prix du blé dur de 15%, puis les surfaces augmentent au détriment du colza et du pois chiche. Un premier plateau est atteint de +25% à +35% puis la surface de blé ré-augmente jusqu'à se stabiliser pour une augmentation de 45% du prix de vente du blé. Cette fois-ci les surfaces en lavandin ne sont pas impactées.

L'évolution de l'assolement est encore différente dans le cas de l'EA3. Pour le cas A, la surface de luzerne diminue dès une augmentation du prix du blé dur de 5%. En regardant le détail des sorties du modèle on s'aperçoit qu'il s'agit de 5ha de luzerne de 1^{ère} année qui ne sont plus semés et remplacés par du blé dur et n'évolue plus par la suite. L'augmentation de la part du blé dur est encore une fois progressive en remplaçant des légumineuses (sainfoin et pois chiche) sans atteindre de plateau. Dans le cas B, on observe deux seuils d'augmentations de la surface du blé dur : +3 % de la SAU pour une augmentation de 20% du prix et + 4% de la SAU pour une augmentation de 50% du prix.

La *Figure 10* ci-dessous nous permet de comparer l'impact de l'augmentation des prix du blé dur sur les indicateurs économiques et agro-environnementaux des trois exploitations avec (A) les variabilités calibrées de prix de vente et de rendement et (B) les variabilités régionales. L'EA2 ayant la plus grande augmentation de surface en blé dur (+15% et +28% respectivement sur les cas avec les variabilités calibrées et régionales ; annexe 2b), on observe la plus grande augmentation sur les indicateurs économiques : dans la version calibrée de l'EA2, la marge brute par ha augmente de 23% avec l'augmentation des prix de vente et l'indépendance aux aides PAC augmente de 16%, et ce malgré la diminution de 10% de la SAU des surfaces en lavandin. Même si le blé dur permet de toucher une aide couplée de la PAC, l'augmentation du prix de vente permet d'augmenter grandement la rentabilité de cette culture et donc le revenu comparativement aux aides PAC qui évolue globalement assez peu.

Dans les simulations utilisant les variabilités régionales (B), on constate que remplacer du colza et surtout des légumineuses à graines par du blé dur augmente fortement les indicateurs d'impact agro-environnemental avec notamment des émissions de gaz à effet de serre doublées pour l'EA2 lorsque on observe une diminution de 18% des légumineuses à graines. Cela s'explique par un plus grand nombre d'épandages d'engrais et de pesticides pour le blé dur que pour les légumineuses à graines. A l'inverse, dans la version calibrée (A) de l'EA2, en diminuant les surfaces de lavandin pour l'EA2 (arrachage d'une partie des plus vieilles parcelles et diminution de la plantation de lavandin), les émissions de GES augmentent moins (30%), mais surtout l'IFT diminue de 7% alors que la surface de légumineuses a moins diminué que dans la version B. Et en effet, le lavandin est la culture de la base de données ayant le plus grand IFT : 5,3 en moyenne pour les lavandins 2 à 10.

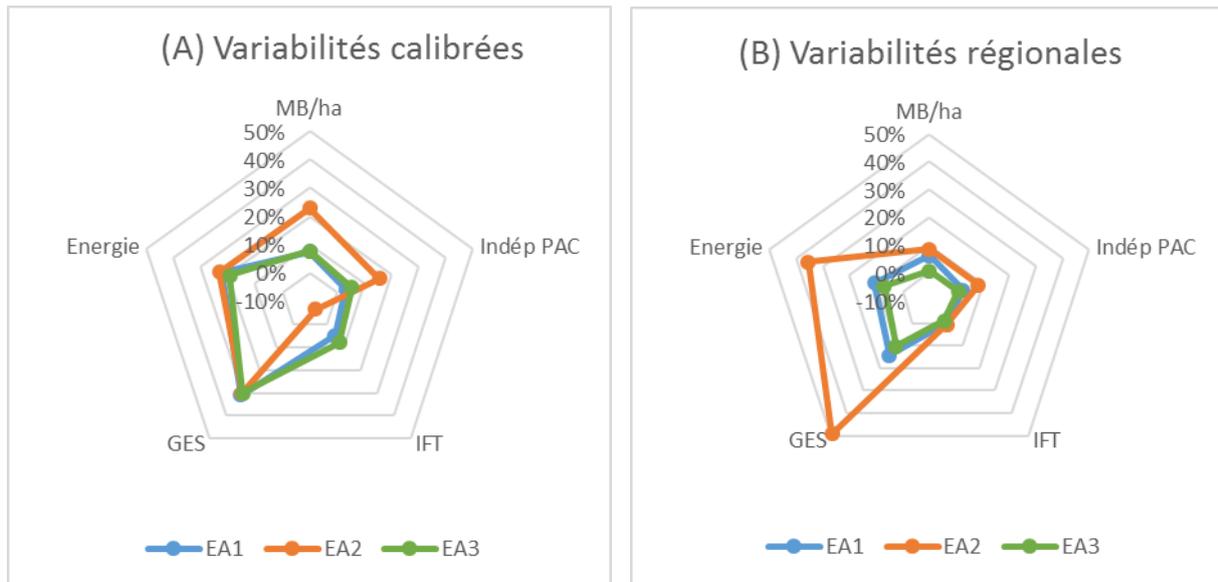


Figure 10 : Comparaison de l'évolution entre l'état actuel et l'état final (augmentation du prix du blé dur de 50%) des indicateurs économiques (marge brute/ha, indépendance aux aides PAC) et agro-environnementaux (IFT, émission de gaz à effet de serre, consommation d'énergie) pour les trois exploitations (EA1 à 3) avec (A) les variabilités de prix et de rendements issues de la calibration et (B) les variabilités régionales. 0% correspondant à une absence d'évolution par rapport à la situation actuelle.

2. Diminution du prix du lavandin

On s'intéresse ici à l'évolution de prix de vente de l'autre culture principale du plateau de Valensole : le lavandin. La tendance étant à la plantation en raison de prix de vente élevés. On cherche ici à analyser ce qu'il pourrait se passer si les prix de vente de cette culture, initialement à 22 €/kgHE⁴, diminuaient. Nous présentons en détail dans cette partie les résultats des EA2 et EA3 pour les variabilités de prix de vente et de rendement calibrées pour illustrer les résultats majeurs.

Dans la *Figure 11* ci-dessous, nous pouvons observer chez les EA 2 et 3 que la proportion de lavandin diminue très faiblement (à peine -1% de la SAU) sauf pour les pourcentages de baisse du prix de vente entourés en rouge où on observe des diminutions importantes de la surface de lavandin. Cette baisse faible est expliquée par une diminution régulière de plantation de lavandin de première année, dont la règle de décision est dépendante la rentabilité des parcelles de lavandin déjà plantées (cf *Équation 4* partie II.C.4). La surface plantée en lavandin 1 devient inférieure à 1ha à partir de -70% du prix de vente actuel pour l'EA2 et -85% pour l'EA3. On note que les surfaces des autres cultures évoluent parfois alors que le lavandin ne bouge pas : le modèle choisi de compenser la baisse de rentabilité du lavandin en privilégiant des cultures plus rentables et surtout plus sûres (i.e. avec des variabilités de prix et rendement plus faibles) que les autres cultures présentes.

⁴ kgHE = kilogramme d'huile essentielle.

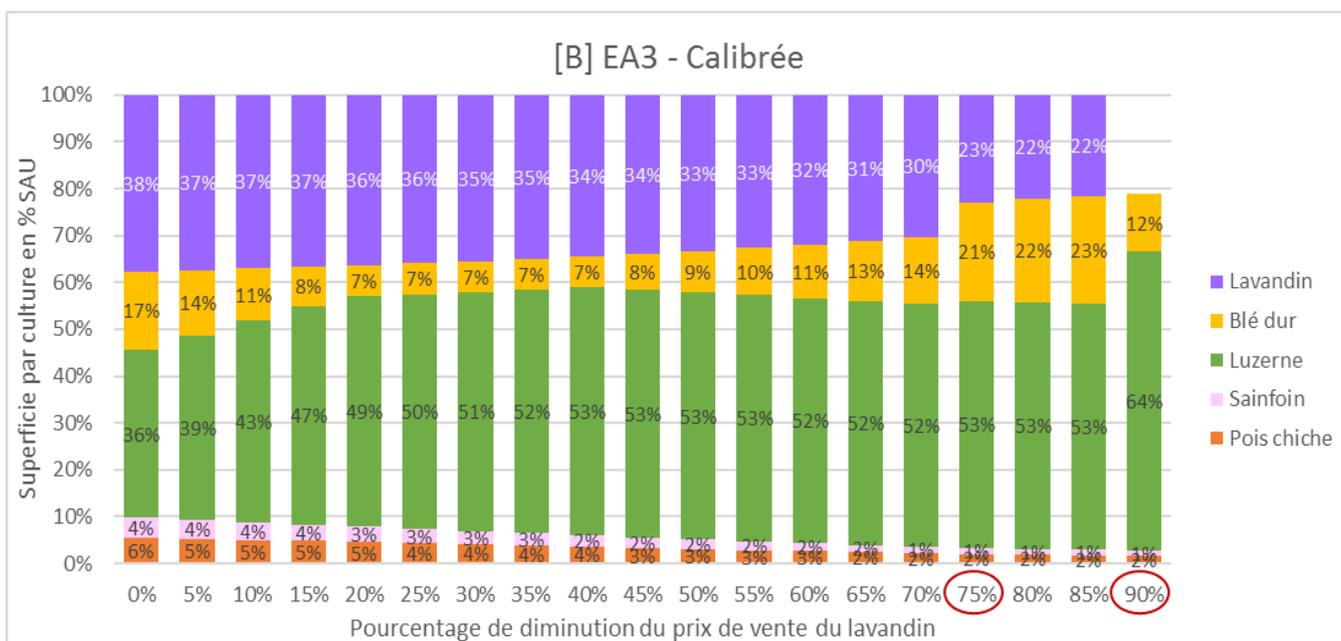
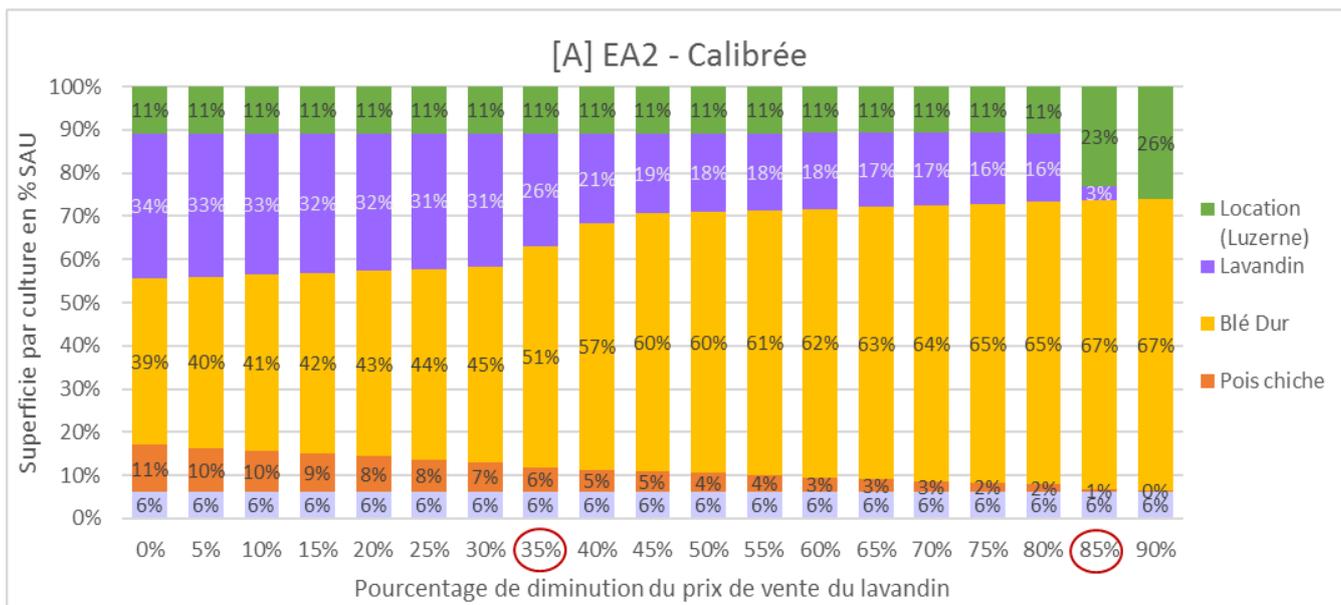


Figure 11 : Evolution de l'assolement selon le pourcentage de diminution du prix de vente du lavandin (actuel : 22 €/kgHE) de EA2 et EA3 pour les variabilités de prix et rendement calibrées. Les pourcentages entourés en rouge signalent une évolution importante de l'assolement commentée ci-après.

Pour EA2 et EA3, on observe deux diminutions importantes lavandin pour chaque EA. Le premier saut observé, respectivement à -30% et -75%, est expliqué par l'arrachage de lavandins de quatre ans, en deux temps pour l'EA2 et en une seule fois pour l'EA3. Ces parcelles sont remplacées par du blé dur. A noter que l'EA2 est plus sensible que l'EA3 à la diminution des prix de vente du lavandin car elle est située dans la zone du plateau touchée par le dépérissement avec des rendements moins bons que sur le reste du plateau. Des cultures comme le blé dur deviennent donc rapidement plus rentables que le lavandin dépéri. La seconde diminution de surface de lavandin est observée pour des modifications élevées de prix (-85% et -90% respectivement pour EA2 et EA3). Pour ces nouveaux prix très bas, il devient plus intéressant de ne rien faire sur les

parcelles de lavandins 2 et 3 dans le cas de l'exploitation 3. En effet il n'est pas considéré dans le modèle la possibilité d'arracher du lavandin avant la fin de la troisième année de culture pour des raisons de rentabilité. Le modèle considère alors que pour un prix de 2,20 €/kgHE, il est plus rentable d'abandonner ces parcelles. Bien que tout le lavandin soit aussi retiré de l'exploitation 2, on n'observe pas de diminution de SAU car le modèle a la possibilité de louer des terres à un éleveur pour qu'il y cultive de la luzerne. Cette location n'est pas considérée comme une activité agricole comme on a pu les définir dans la partie II.B.2, et n'est donc pas soumise aux mêmes conditions de couple précédent/suivant, ce qui permet au modèle de choisir de remplacer les lavandins 2 et 3 par une location de luzerne.

En annexe 2c, on retrouve les résultats de cette simulation pour EA1. Comme l'EA3 on observe une diminution de la SAU totale à partir d'une diminution des prix de vente de 85% puisque les parcelles de lavandin 2 et 3 génèrent une perte économique trop importante et, contrairement à l'EA2 avec la location de terre, il n'y a pas d'alternative possible. Nous avons également placé en annexe 2c les résultats de cette simulation pour les trois exploitations avec les variabilités régionales. L'analyse que l'on peut en faire est très proche des cas calibrés avec une forte augmentation de la part de blé dur pour remplacer l'arrachage de lavandin, mais aussi une augmentation des surfaces de légumineuses à graines. Une diminution des prix de vente de 85% et 90% conduit également à une diminution de la SAU plantée chez les EA1 et 3, de par l'impossibilité du modèle de remplacer les lavandins de 2^e et 3^e année (sauf pour l'EA2).

En terme économique, on peut suivre sur la *Figure 12* l'évolution de la marge brute moyenne (€/ha) pour les trois exploitations en fonction du pourcentage de diminution du prix de vente du lavandin.

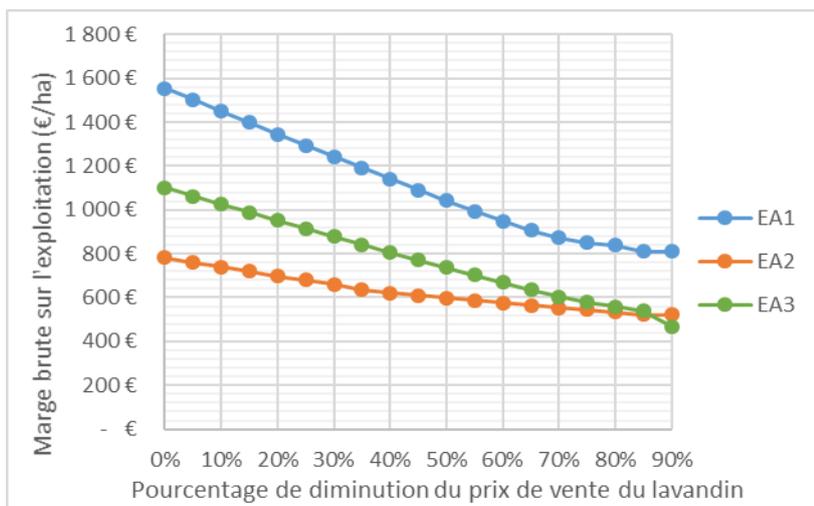


Figure 12 : Evolution de la marge brute moyenne (€/ha) pour les trois exploitations agricoles étudiées (versions calibrées), en fonction d'une diminution progressive du prix de vente du lavandin par pas de -5%.

On peut constater que la perte engendrée par la diminution du prix de vente est linéaire au début, lorsque les surfaces en lavandin sont encore maintenues (cf *Figure 6* et *Annexe 2c*). Mais arriver à une certaine diminution du prix du lavandin, l'arrachage de parcelles est nécessaire pour stabiliser la perte de revenu. On peut constater l'importance économique du lavandin dans le revenu des agriculteurs puisque lorsque son prix et ses surfaces baissent, le remplacement du lavandin par une autre culture ne permet pas de limiter la perte économique.

3. Augmentation des prix des légumineuses à graines

Pour cette troisième série de simulations, nous avons fait varier le prix des trois légumineuses à graines de la base de données (pois, pois chiche et féverole) en l'augmentant par pas de 5% jusqu'à le doubler. Les prix de départ sont 23 €/qt pour le pois et le pois chiche et 22 €/qt pour la féverole.

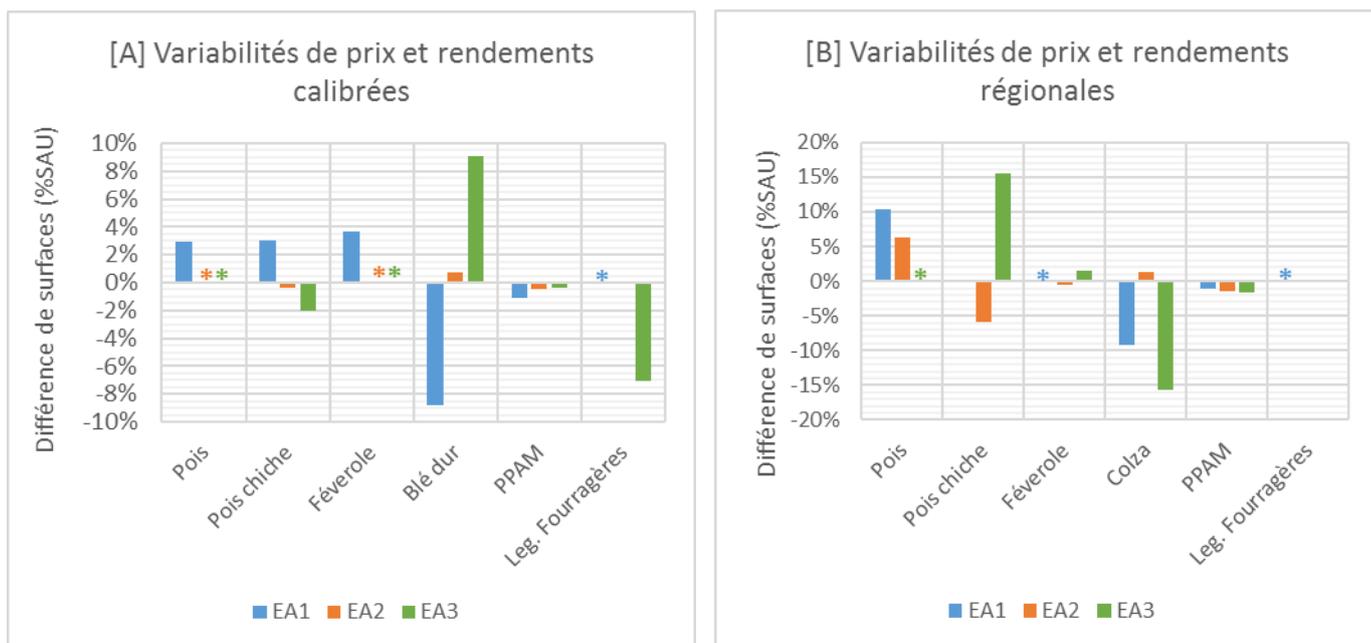


Figure 13 : Différence de surface de culture (%SAU) entre l'état actuel et final (i.e. prix de vente de légumineuses à graines doublé) pour les exploitations 1 à 3 avec les variabilités calibrées [A] et régionales [B]. Les étoiles indiquent que l'évolution d'une culture est nulle car elle n'est pas présente ni à l'état actuel ni au final.

La Figure 13 ci-dessus nous montre l'écart (en %SAU) entre l'assolement actuel des trois exploitations étudiées et l'assolement que propose le modèle pour une augmentation des 100% des prix de vente du pois, du pois chiche et de la féverole. Les résultats pour l'EA1, que ce soit dans le cas A (calibré) ou B (non calibré) sont sans surprise : une augmentation de la rentabilité des légumineuses à graines augmente leur proportion dans l'assolement (+10% de SAU, toutes légumineuses à graines confondues dans les deux cas, même si seul le pois évolue dans le cas B) au détriment d'autres cultures comme le blé dur (cas A) ou le colza (cas B), et légèrement le lavandin. Les résultats de l'EA2 dans le cas B sont similaires à ce que nous venons de voir pour l'EA1, mais ce n'est pas le cas de la situation A : la part de pois chiche diminue légèrement (-2%) mais surtout la surface de légumineuses fourragères diminue de 7%, ces deux cultures étant remplacées par du blé dur (+9%). Ce résultat étant d'autant plus inattendu que la rentabilité du pois chiche augmente et que celles du blé dur ou de la luzerne ne sont pas modifiées. Cela s'explique par la notion de risque du modèle qui prend en compte la variabilité des prix et de rendement. En augmentant le prix de vente de ces cultures, les variabilités de prix très élevées issues de la calibration rendent très importante la possibilité de gain mais aussi le risque de perte. Le modèle n'écarte donc pas complètement ces cultures mais sécurise le revenu global en modifiant les surfaces d'autres cultures, ici le blé dur remplaçant la luzerne car il est considéré comme plus sûr. Concernant l'EA2, on observe très peu de changement de l'assolement, à part une substitution d'une partie du pois chiche par du pois, considéré comme plus rentable et plus sécurisé par le modèle dans sa version régionale (B).

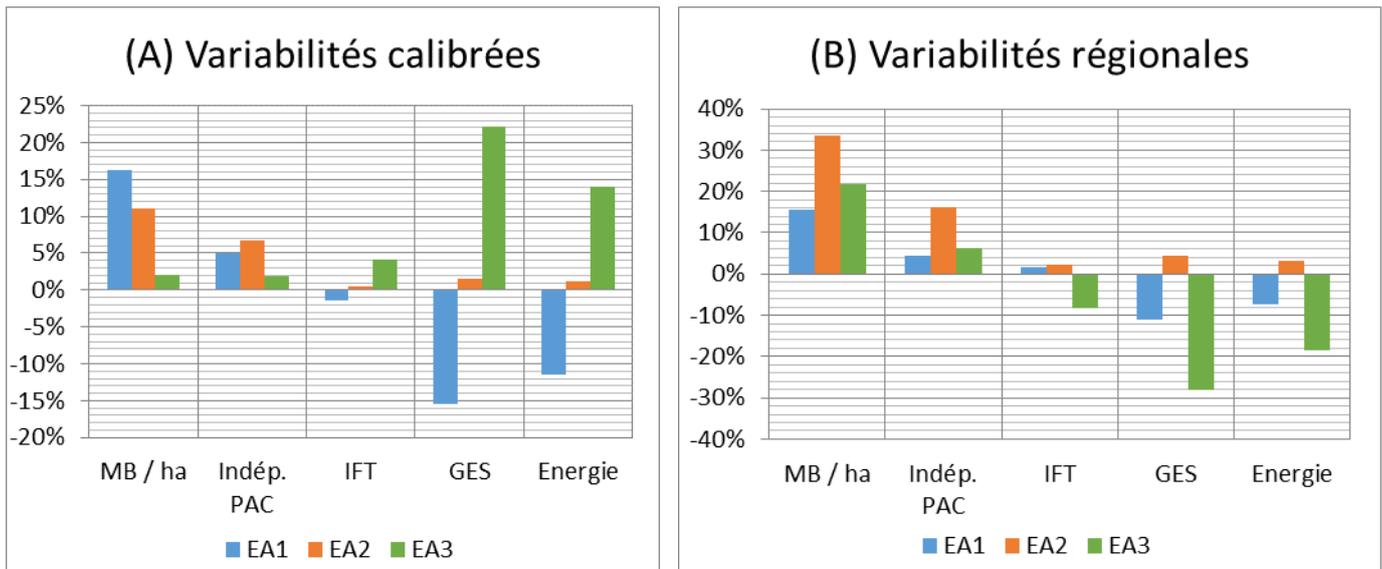


Figure 14 : Ecart (%) entre l'état actuel et l'état final (prix de vente des légumineuses à graines doublé) des indicateurs économiques et agro-environnementaux pour les trois exploitations dans leurs versions calibrées (A) et régionales (B)

En analysant l'évolution des indicateurs économiques et d'impact agro-environnemental (Figure 14), on peut noter que pour les cas où on observe une augmentation des surfaces de légumineuses (Figure 13), soit EA1 dans les cas A et B et EA3 dans le cas B, on observe une diminution de l'impact environnemental avec une diminution de la consommation d'énergie, des émissions de gaz à effet de serre et une légère baisse de l'IFT (sauf pour EA1 avec les variabilités régionales (B)).

Pour conclure sur cette simulation, doubler le prix de vente des légumineuses à graines n'est pas une condition suffisante pour voir leur surface augmenter de manière importante sur le plateau de Valensole. Il faut toutefois mettre en évidence que les trois exploitations suivies ici ont déjà une importante surface de légumineuse dans leur assolement actuel (cf Figure 7).

C. Simulations d'alternatives techniques

1. Extension du réseau d'irrigation à tout le plateau

Actuellement, seule l'EA1 a accès à l'irrigation. Cependant, un plan d'extension est actuellement en cours de discussion. De ce fait nous explorons ici l'effet que pourrait avoir la disponibilité de l'irrigation via la SCP sur les EA2 et EA3 que nous étudierons dans deux simulations différentes.

i. L'EA2 : accès à l'irrigation et détermination de la surface maximale irriguée

L'EA2 située au nord du plateau n'a pas accès à l'irrigation, que ce soit via la SCP ou un autre moyen (forage, retenue collinaire). On observe sur la Figure 15 ci-dessous que dans les deux cas (variabilités calibrées [A] et régionales [B]), les surfaces de cultures irriguées de EA1 augmentent linéairement avec la part de surface irrigable jusqu'à un plateau, pour une surface irriguée d'environ 40% de la SAU (soit respectivement 26,6 et 25,7 ha). L'irrigation est apportée sur une seule culture par cas : le blé dur (cas A – calibré) et le colza (cas B – non calibré). Dans la situation finale (soit la surface irriguée maximale pour le modèle, ces deux cultures sont entièrement cultivées en irrigué et plus du tout en sec, avec en prime une diminution des surfaces en légumineuses à graines pour atteindre cette surface irriguée considérée comme maximale par le modèle. La diminution du pois chiche est surtout notable dans le cas B où on commençait avec une

surface moins de colza (15% de la SAU à l'état actuel (sec) contre un plateau à 40% de la SAU au final (irrigué)), alors que les surfaces de blé dur évoluent peu dans le cas A entre blé dur sec et blé dur irrigué.

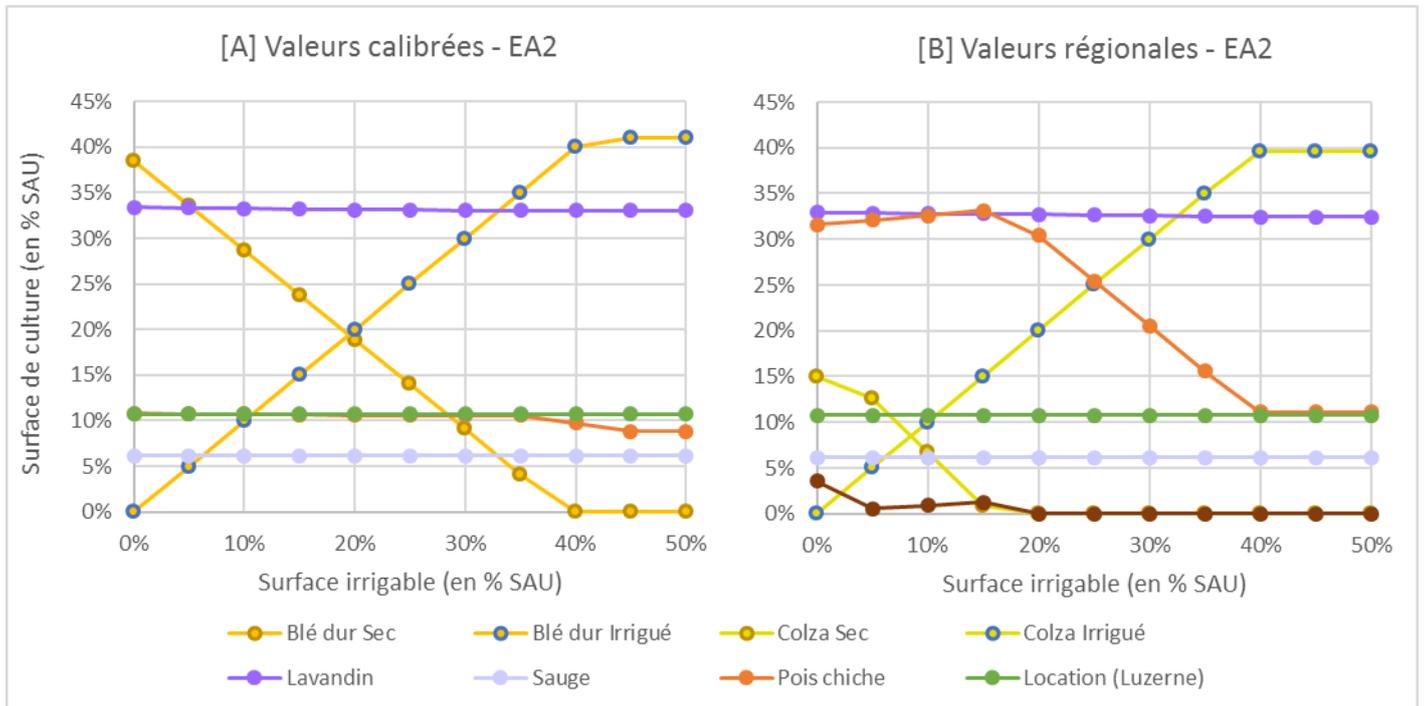


Figure 15 : Evolution de l'assolement de l'EA2 selon le pourcentage de SAU irrigable pour les valeurs de variabilités calibrées [A] et régionales [B].

Les seuils de surfaces irriguées maximales ne s'expliquent pas par une saturation de la main d'œuvre disponible ou des possibilités de couples précédent-suivant par rapport à l'assolement initial. Il s'agit bien d'une limite de combinaison optimale du point de vue du revenu qui pousse le modèle à choisir cet assolement, sans augmenter davantage les surfaces de blé dur ou de colza irrigué et au détriment d'autres cultures sèches (ex. pois chiche dont l'activité n'a pas été adaptée à une conduite en irrigué, cette pratique semblant peu courante sur le plateau au vu des entretiens réalisés).

A noter toutefois que même si la possibilité a été donnée au modèle d'irriguer le lavandin dans cette zone, l'absence de récolte la première année rend cette nouvelle activité encore moins rentable à cause des frais supplémentaires d'irrigation. Le modèle préfère donc se tourner vers une plantation de lavandin en sec. Même si on considère la rentabilité des lavandins plus âgés déjà plantés, le modèle ne considère pas aujourd'hui la rentabilité cumulée du lavandin à l'échelle de la durée entière de la culture par rapport au fait de l'irriguer ou non.

On note sur la Figure 16 ci-contre que

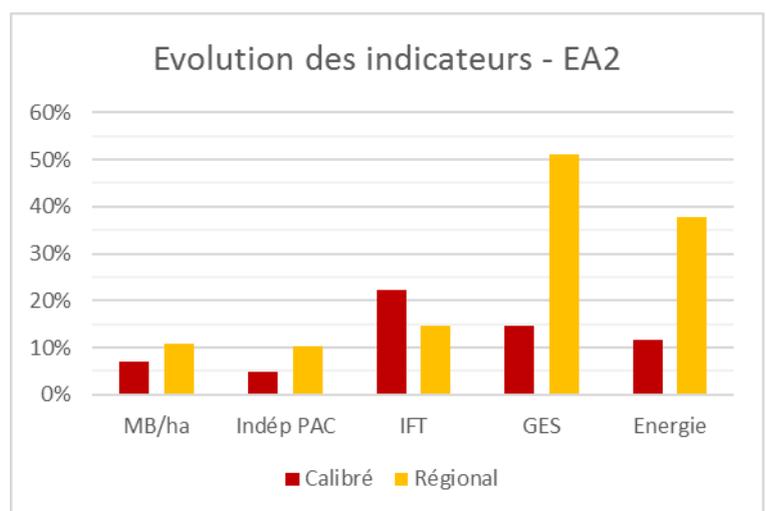


Figure 16 : Ecart en pourcent pour différents indicateurs économiques ou agro-environnementaux entre les situations actuelles et finales, pour les cas avec variabilités régionales et calibrées pour

les indicateurs économiques sont meilleurs avec l'irrigation, ce qui montre que le gain de rendement sur les cultures irriguées est supérieur aux coûts de main d'œuvre et de l'eau. Par contre les indicateurs d'impact agro-environnemental augmentent aussi, ce qui signifie que les activités choisies pour profiter de l'accès à l'irrigation sont plus énergivores et polluantes. Cela s'explique par le fait que les activités agricoles avec irrigation comportent généralement des traitements phytosanitaires supplémentaires.

ii. L'EA3 : mise en place de la tarification SCP et augmentation du volume disponible

Nous avons également simulé les effets de l'extension du réseau d'irrigation sur l'exploitation en polyculture-élevage. Bien que l'EA3 dispose d'une retenue collinaire lui permettant d'irriguer 22% de sa surface sans frais, la ressource est limitée. On se pose donc la question de l'impact de deux éléments : rendre l'eau d'irrigation payante au tarif de la SCP (0,17€/m³)⁵ et voir quelle serait la surface irriguée optimale en faisant l'hypothèse que l'eau d'irrigation disponible est plus importante que la capacité de la retenue collinaire.

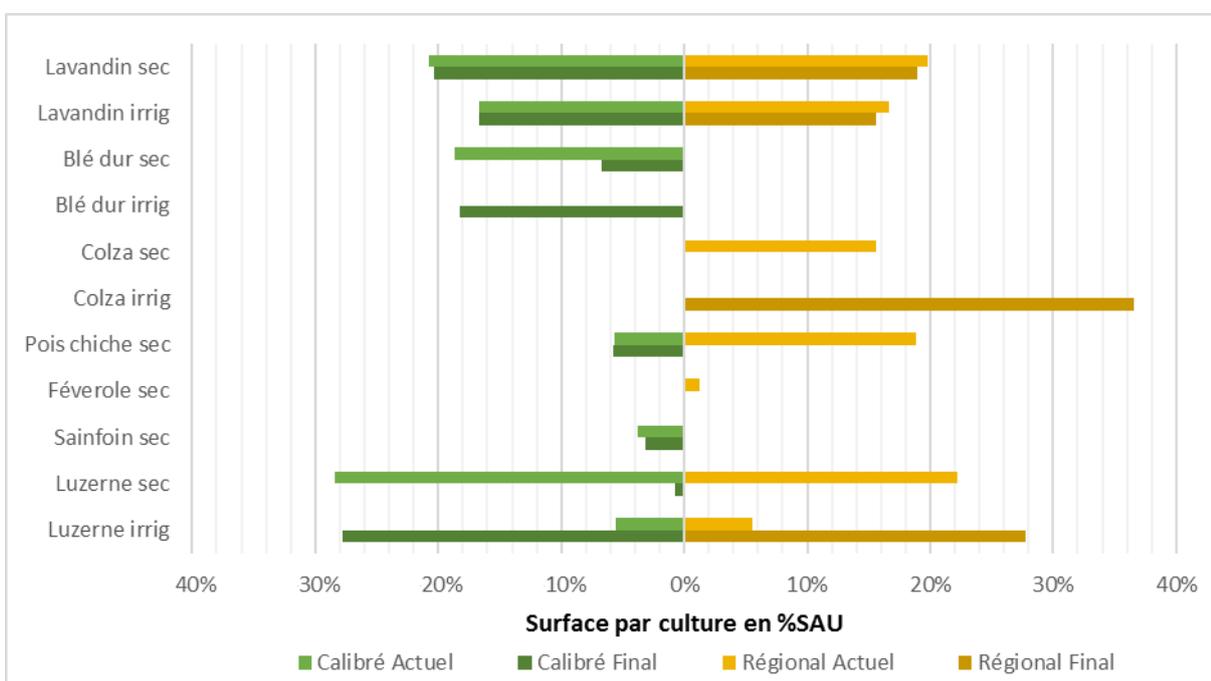


Figure 17 : Comparaison de la répartition des cultures en %SAU entre l'état actuel et final pour une augmentation de la surface irrigable et un passage à la tarification de la SCP, pour les valeurs de variabilité régionales (gauche) et calibrées (droite).

On constate que sans contrainte de surface irrigable, on passe d'une surface irriguée actuelle de 22% de la SAU à 63% (soit de 20 à 56 ha), pour le cas où les variabilités sont calibrées, et on passe à 72 ha irrigués dans le cas des variabilités régionales, soit 80% de la SAU. Comme pour l'EA2, on peut voir que pour les valeurs régionales le colza est majoritairement irrigué, avec une augmentation globale de 131% de la surface totale de colza par rapport à l'état actuel en passant de 14 ha en sec à 33 ha irrigués (Figure 17). Dans le cas calibré, si la part de blé dur irrigué augmente nettement, il ne remplace pas totalement le blé dur sec. On peut également constater que dans les deux cas, la part de luzerne irriguée augmente très fortement passant de 6% de la SAU en actuel, à

⁵ Nous ne considérons que le tarif « haut » puisque toutes périodes d'irrigation renseignées dans la base de données se trouve sur cette période, aucune irrigation n'est possible l'hiver où le tarif est plus bas.

28% de la SAU, remplaçant tout (cas B) ou partie (cas A) de la luzerne cultivée en sec.

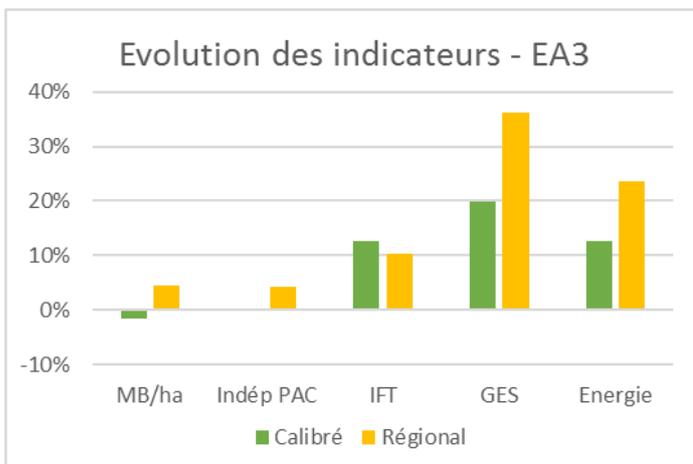


Figure 18 : Ecart en pourcent pour différents indicateurs économiques et agro-environnementaux entre les situations actuelles et finales des cas avec variabilités régionales et calibrées pour l'EA3.

Concernant l'évolution des indicateurs économiques et agro-environnementaux présentés dans la Figure 18 ci-contre, il est intéressant de noter une diminution de la marge brute par hectare pour le cas calibré. On peut notamment l'expliquer par le prix de l'eau d'irrigation qui devient payant puisqu'on observe cette baisse de revenu même avec la surface irriguée initialement grâce à la retenue collinaire. On peut aussi noter l'augmentation des trois indicateurs de pollution dans les deux cas : l'IFT, les émissions de gaz à effets de serre ou la consommation d'énergie, avec une augmentation plus importante de ces deux derniers indicateurs dans le cas régional, comme dans le cas de l'EA2.

2. Développement de l'enherbement du lavandin

Le dépérissement du lavandin représentant une problématique importante dans la partie nord du plateau de Valensole, nous nous intéressons ici au développement de l'enherbement du lavandin. En enherbant l'inter-rang du lavandin avec du triticale les deux premières années, on suppose une amélioration du rendement (cf Figure 6 partie II.B). L'évolution des rendements étant différente entre le lavandin avec et sans enherbement, nous les considérons comme deux cultures distinctes dans les possibilités d'activités agricoles. Comme la règle de décision pour planter du lavandin première année prend en compte la rentabilité du lavandin déjà planté (Équation 4), il faut que l'assolement initial comporte une part de lavandin enherbé pour que le modèle choisisse d'en planter. Nous remplaçons donc progressivement la part de lavandin dépéri « normal » dans l'assolement initial de l'EA2, située dans la zone touchée par le dépérissement, par du lavandin enherbé (mais toujours touché par le dépérissement) jusqu'à ce que tout le lavandin initial soit du lavandin enherbé.

Avec la Figure 19 ci-dessous, on compare l'assolement de l'EA2 entre l'état actuel, où le lavandin dans l'assolement initial n'est pas enherbé, et l'état final où tout le lavandin de l'assolement initial est considéré comme enherbé. On peut constater une légère augmentation de la surface de lavandin totale dans les deux cas (variabilités calibrées et régionales), avec une augmentation de la plantation de lavandin 1. Cela s'explique par le fait que la rentabilité du lavandin enherbé devient plus importante que celle du lavandin dépéri non enherbé à partir de la 4^e année. Le modèle trouve donc intéressant de planter plus de lavandin dans un système où tout le lavandin est enherbé que du lavandin non enherbé dans le système actuel. Il est intéressant de noter que dans le cas des variabilités régionales, on observe une forte diminution de la surface de pois chiche, remplacé par du colza. Cette différence s'explique par une compensation de la perte économique que représente la gestion de l'enherbement des deux premières années.

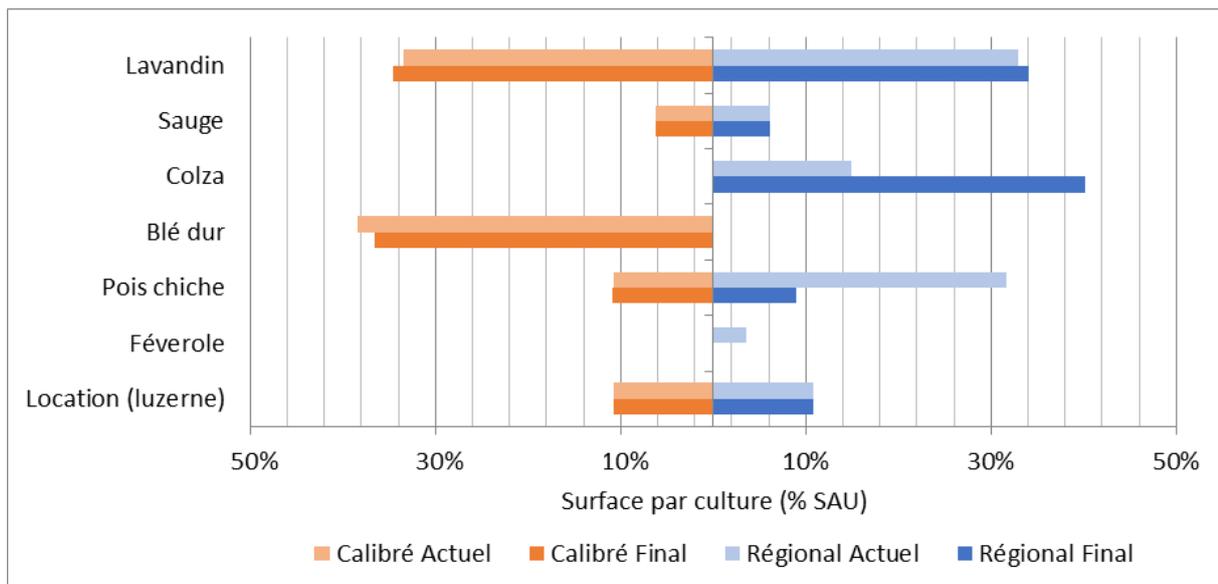


Figure 19 : Comparaison de l'assolement entre état actuel et final (lavandin enherbé) entre variabilités calibrées (gauche) et régionales (droite) pour l'EA2.

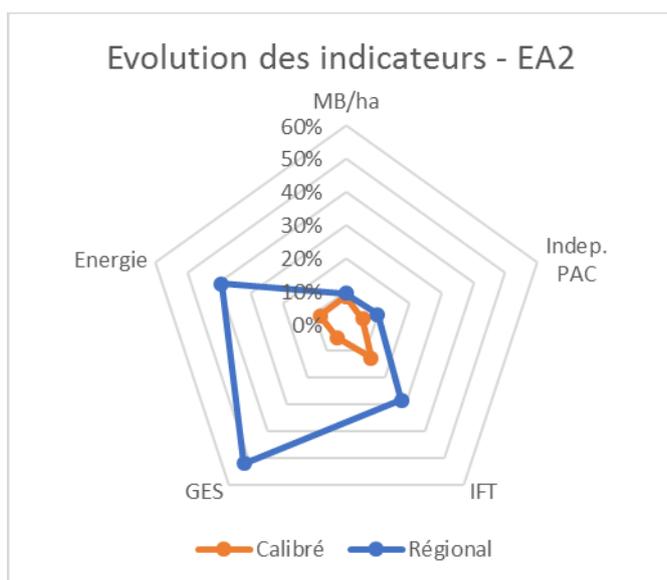


Figure 20 : Evolution des indicateurs économiques et agro-environnementaux de l'EA2 entre l'état actuel et final (lavandin enherbé), avec les cas des variabilités calibrées et régionales.

L'effet du passage à un lavandin totalement enherbé est relativement faible dans le cas des variabilités calibrées. On observe (Figure 20) une légère augmentation de l'IFT, des GES et de la consommation d'énergie que l'on peut relier à la gestion de l'enherbement sur les deux premières années du lavandin. Dans le cas régional, la forte augmentation de l'impact environnemental est surtout liée à l'augmentation de la surface en colza au détriment des légumineuses à graines, plus économes en intrants.

D. Simulation d'une modification de politique publique : la diminution des IFT

Dans cette dernière série de simulations, on s'intéresse à l'impact d'une diminution de l'IFT sur les trois exploitations agricoles suivies dans cette étude.

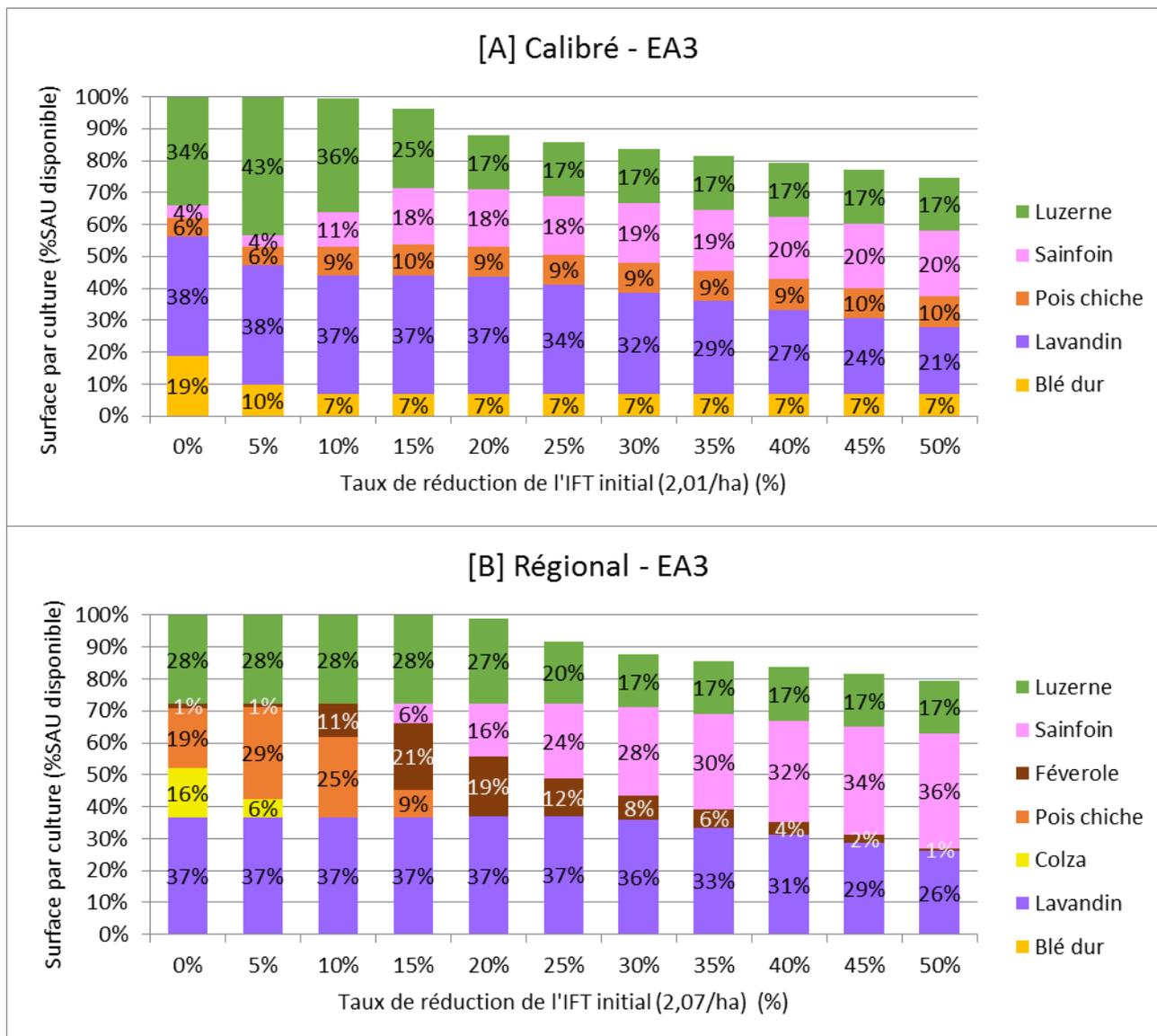


Figure 21 : Evolutions des assolements de l'EA3 avec des variabilités calibrées [A] et régionales [B] lorsqu'on impose une baisse de l'IFT

Dans la Figure 21 ci-dessus, dans les deux cas (variabilités calibrées (A) ou régionales (B)), on observe que pour l'EA3, la part de sainfoin augmente fortement. Cela s'explique par le fait que l'IFT de cette culture est nul. Mais pour respecter la contrainte d'IFT croissante, les surfaces de luzerne puis de lavandin sont diminuées, sans qu'il n'y ait de culture choisie pour les remplacer. Même si de nombreux couples de cultures « précédents – suivants » ont été rajoutées par rapport aux versions précédentes, nous avons considéré certains couples non faisables, comme retourner la luzerne avant sa 5^e année de culture ou arracher du lavandin avant sa 3^e année pour des raisons de rentabilité économique. Ces éléments, qui peuvent être considérés comme des limites du modèle, expliquent pourquoi, à partir d'une réduction imposée de l'IFT de 15% (A) 20% (B), le modèle ne cultive pas toute la surface disponible.

Pour l'EA2, on n'observe pas de diminution de la SAU (Figure 22 ci-dessous) car on a la possibilité de louer des hectares à un éleveur pour faire de la luzerne. Cette location n'entre pas à proprement parler dans le cadre d'une succession culturale pour le modèle car elle n'est pas codée comme une activité agricole. On n'y associe pas de frais de main d'œuvre mais on n'y associe pas

non plus d'émission de GES ou d'IFT, seulement un revenu par rapport à la location (200 €/ha/an).

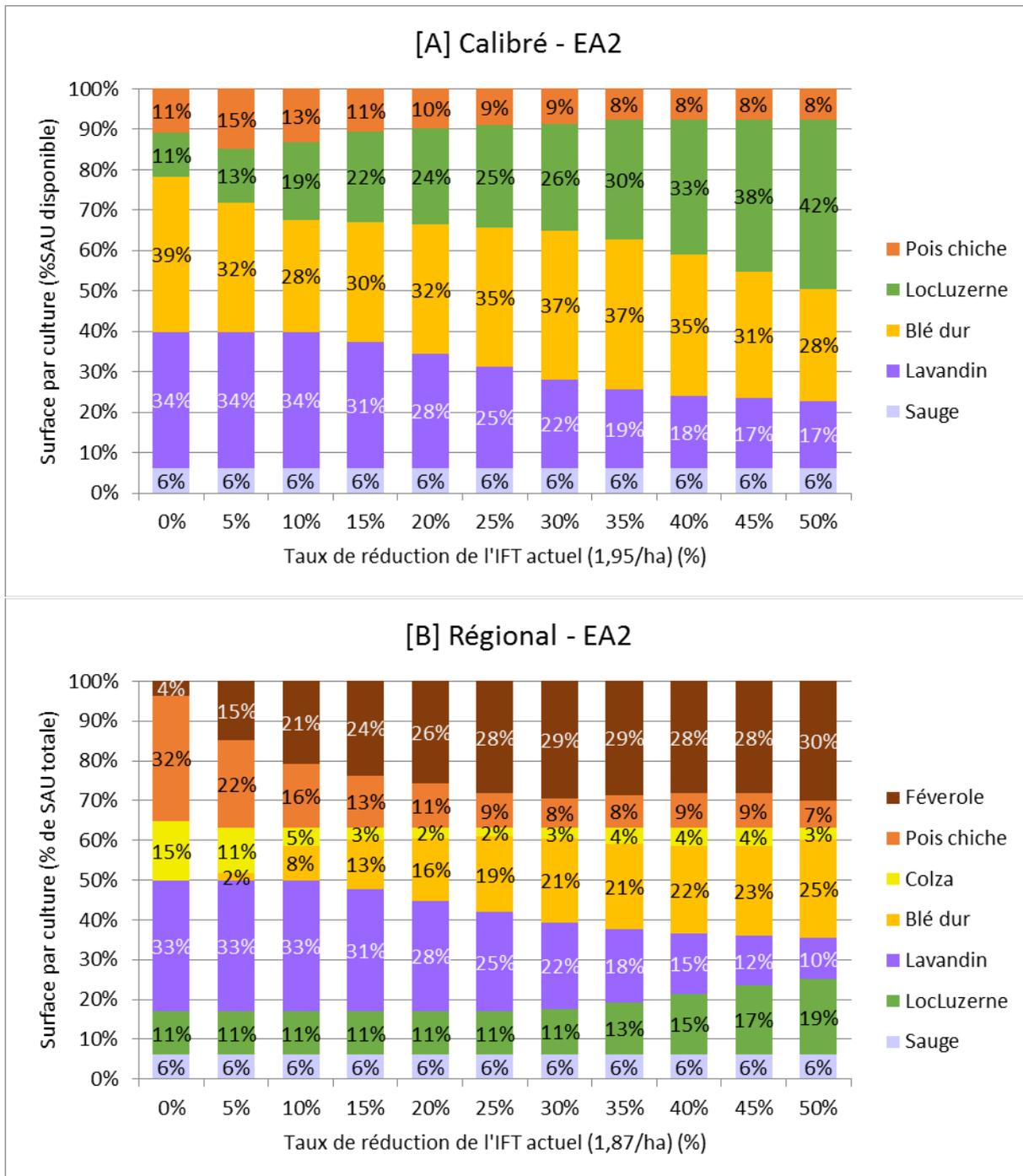


Figure 22 : Evolution de l'assolement selon la réduction des IFT pour le cas variabilités calibrées [A] et régionales [B] sur l'EA2

Pour l'EA1, on observe des résultats similaires à l'EA2 avec une diminution des surfaces (en lavandin principalement), sans forcément de culture en remplacement à cause des contraintes de couples précédent-suivant par rapport à l'assolement initial. Pour cette exploitation, on peut donc noter un manque de souplesse particulier car la SAU n'est plus entièrement cultivée dès une baisse imposée de 10% pour la version calibrée, et de 20% pour la version régionale. Les graphiques sont présentés en annexe 2d.

IV. Discussion

A. Retour sur les résultats

1. Place des légumineuses dans les résultats de simulations

Dans notre étude, nous nous intéressons à l'impact de la diversification des cultures sur la résilience des agrosystèmes, notamment à travers l'insertion de légumineuses. Les trois exploitations prises comme exemples sont déjà très diversifiées dans leurs situations actuelles avec des surfaces importantes en légumineuses. Ces légumineuses peuvent être majoritairement des légumineuses à graines comme dans l'EA1 dans la zone irrigable (4% de féverole, 7% de pois, et 11% de pois chiche), des légumineuses fourragères comme dans l'EA3 en polyculture-élevage (33% de luzerne et 4% de sainfoin), ou mixte comme dans l'EA2 dans la zone touchée par le dépérissement avec 11% de pois chiche et 11% de luzerne⁶. Les résultats économiques sont relativement bons puisque l'indépendance économique aux aides PAC est proche de la moyenne des exploitations en grandes cultures de la région PACA avec 70% en 2014 (*Agreste, 2017*). Cette part des subventions dans le résultat peut être relativisée en comparant les autres orientations économiques : l'indépendance est très forte pour les EA en maraîchage où les aides ne représentent que 2% de la marge brute (i.e. une indépendance de 98%) et à l'inverse les élevages caprins/ovins dépendent fortement des aides puisqu'elles représentent plus de la moitié (144%) du résultat économique. Concernant les IFT, même s'ils semblent relativement bas, on ne se démarque pas des IFT régionaux de référence de 2,4 pour les exploitations en grandes cultures et 2,0 pour celles en polyculture-élevage en région PACA (*DEPHY, 2012*). Pour mettre davantage en perspective l'effet des légumineuses sur les aspects économiques et agro-environnementaux dans les agrosystèmes de Valensole, il faudrait étudier des exploitations avec moins de légumineuses dans leur situation actuelle, plus représentatives des exploitations du plateau de Valensole. Ce biais dans le choix des exploitations de l'étude vient du fait que les agriculteurs qui s'engagent dans des projets d'amélioration des pratiques sont déjà en réflexion dans leurs propres exploitations agricoles et y testent des pratiques peu répandues localement, comme la culture des légumineuses dans notre cas.

On peut noter sur l'EA1 cas A⁷ qu'avec la simulation d'augmentation des prix des légumineuses à graines, la superficie de ces cultures augmente légèrement, remplaçant du blé dur et du lavandin. Cette diversité plus prononcée de l'assolement permet une diminution de quelques pourcents de l'IFT, mais aussi de l'émission de GES et de la consommation d'énergie, ce qui peut illustrer l'avantage de ces cultures en termes d'impact agro-environnemental. Ces résultats s'expliquent ici par des itinéraires techniques moins intensifs pour les légumineuses par rapport au blé et au lavandin, observés sur le plateau de Valensole et utilisés dans cette étude. Ces résultats sont cohérents avec plusieurs études précédentes, où le potentiel de réchauffement climatique est considéré moindre pour un hectare de légumineuse par rapport à un hectare de blé (ceci n'étant pas nécessairement vrai par kg de matière sèche) (*Köpke et Nemecek, 2010*). Ceci est également dû à la moindre fertilisation azotée des légumineuses, et leur effet précédent, qui permet une diminution forte des émissions de gaz à effets de serre dans les rotations incluant ces espèces (*Barton et al., 2014*).

Toutefois, dans la plupart des simulations réalisées, on observe que les légumineuses sont souvent les premières cultures à diminuer, en particulier le pois chiche. Lorsque le prix du blé dur augmente par exemple, les surfaces en blé augmentent au détriment des légumineuses à graines.

⁶ Pour rappel, dans l'EA2, la luzerne est gérée par un éleveur à qui sont loués quelques hectares.

⁷ Cas A : variabilités calibrées des prix et des rendements ; Cas B : variabilités régionales des prix et des rendements (cf *Tableau 2*)

Même lorsque l'on augmente le prix de vente des légumineuses à graines, on constate que ce critère prix n'est pas toujours suffisant pour induire une augmentation des surfaces, puisqu'on peut même observer une légère diminution des surfaces de ces légumineuses dans certains cas (EA3 cas A par exemple). De manière générale, on pourrait même noter que lorsque l'on simule des modifications davantage contraignantes (par exemple la diminution des IFT ou des prix de vente du lavandin), le modèle a tendance à spécialiser les assolements qui perdent alors en diversité, notamment en légumineuses ou en colza (culture très présente dans les sorties du cas B pour les trois exploitations). En reprenant notre définition de la résilience, vu comme une capacité d'un agrosystème à maintenir sa structure (Holling, 1973), l'EA1 apparaît comme l'exploitation la moins résiliente des trois, en particulier dans le cas A. En effet, en regardant les simulations de baisse d'IFT ou de prix du lavandin, on observe que c'est l'EA1 cas A qui voit sa surface totale cultivée diminuer pour les plus faibles changements (dès -10% d'IFT par exemple, alors qu'on observe une diminution des surfaces cultivées à partir d'un seuil de -15% d'IFT pour l'EA3 cas A, et -20% pour le cas B des EA1 et 3). On peut ainsi considérer une diminution de la SAU comme une altération de la structure de cet agrosystème, et donc un indicateur de la faible résilience d'un agrosystème. On remarque sur ces exemples que la diversité de l'assolement ne semble pas être un facteur explicatif de ces différences de résilience puisque les trois exploitations ont des niveaux proches de diversité grâce aux légumineuses. Mais au vu de l'importante part de légumineuses dans les assolements, les résultats des simulations nous interpellent d'autant plus qu'un lien est souvent fait entre diversité des cultures et résilience face à des changements de l'environnement (Lin, 2011).

Nous pouvons relier la diminution des surfaces de légumineuses pour d'importantes modifications de l'environnement à la forte instabilité des prix de vente et des rendements de ces cultures dans notre étude. Il est toutefois intéressant de noter que cette forte variabilité des légumineuses n'est pas propre à notre terrain d'étude mais a aussi été démontrée à l'échelle européenne (Cernay et al., 2015), ce qui induit un très fort risque associé à ces cultures. A noter également que les cultures de luzerne, pois chiche et féverole n'étaient pas présentes dans la base de données initiale des activités agricoles (Tardivo, 2016) mais ont été rajoutées par Hitane (2018) et moi-même, sans le même dispositif d'enquête de Tardivo et ne comportent qu'une ou deux activités agricoles associées⁸. Pour aller plus loin sur l'évolution des légumineuses, on pourrait donc enrichir encore d'avantage les possibilités dans la base de données en recensant ce qui se fait ou pourrait se faire sur le plateau de Valensole. Encore une fois, il faudrait également mettre en perspective ses résultats de simulations avec l'évolution des assolements d'autres exploitations actuellement peu diversifiées.

2. Conséquences des différences de calibration des variabilités rendements et prix

L'augmentation considérable des variabilités de prix et de rendements de différentes cultures avait pour objectif d'obtenir une « situation actuelle », soit un assolement (et donc des performances d'exploitations) proches de la réalité. En effet, ce n'est plus le cas avec les variabilités régionales de références maintenant que la base de données des activités agricoles a été élargie, notamment en levant la contrainte imposant qu'un blé dur soit systématiquement le précédent de toute autre culture. On peut voir en comparant les résultats de simulation entre cas A et B par exploitation qu'une telle modification n'est pas neutre. Des fortes variabilités appliquées à certaines cultures symbolisent le fait qu'elles sont peu maîtrisées techniquement et qu'elles

⁸ Pour le blé dur, la féverole et la luzerne on ne considère qu'un précédent blé dur possible, une seule possibilité de préparation du sol, de fertilisation et de protection phytosanitaire, seule la luzerne à deux activités avec une conduite en sec ou en irrigué.

s'inscrivent dans des filières en cours de construction. Mais on constate que pour le pois et la féverole (dans les EA2 et EA3 notamment) rendre les variabilités très élevées pour que ces cultures ne sortent pas dans l'assolement représentant l'état actuel a fait que le modèle ne les propose pas non plus comme solution dans les différentes simulations. C'est pourquoi il est intéressant de comparer ces résultats par exploitation dans les cas A reflétant la situation du plateau, et B où les variabilités sont des moyennes régionales : dans le cas de la simulation de baisse des IFT, on observe une augmentation nette des cultures de féverole pour le cas B dans les trois EA, même si elle semble surtout remplacer du pois chiche, l'IFT de la féverole étant à 0,5 tandis que celui du pois chiche est à 0,9.

Un autre résultat très intéressant qui apparaît en comparant les résultats pour les cas A et B, est la présence récurrente de colza dans les sorties du modèle. En comparant les sorties entre cas A et B, le colza remplace une partie du blé dur et leurs proportions dans l'assolement évoluent de manière similaire en remplaçant ou étant remplacé par le même type de cultures. Ceci est notamment bien mis en évidence dans la simulation sur le développement de l'irrigation pour l'EA2. On peut tout de même noter un biais pour le colza qui permet de relativiser son comportement dans les simulations utilisant les variabilités régionales : cette culture a été renseignée dans la base de données avec un itinéraire technique que peu de personnes pratiquent sur le plateau de Valensole (les trois agriculteurs de l'étude ne cultivent pas de colza non plus), avec des rendements associés très peu représentatifs ([Tardivo, 2016](#)). Il faut aussi noter que les variabilités de rendement à l'échelle de la région PACA ne sont pas forcément adaptées au plateau de Valensole puisque les conditions ne sont pas comparables, par exemple, à la Camargue. On pourrait donc imaginer que pour affiner les variabilités de prix et de rendement, en liant avec la notion de risque pour l'agriculteur, il serait intéressant de réaliser une étude sur la variabilité des prix de vente et des rendements en lien avec les acteurs du territoire (coopérative GPS, chambre d'agriculture...) ou bien se baser sur une estimation du risque « ressenti » par les agriculteurs, accessible par enquête.

B. Retour sur la méthode

1. La construction du modèle

Le premier point à discuter sur la construction du modèle est la prise en compte du risque avec des paramètres de variabilité des prix et des rendements par culture dont nous venons de discuter les effets sur les résultats. L'aversion au risque présente un intérêt pour reproduire un état observé chez les agriculteurs mais aussi prendre en compte leurs comportements ([Belhouchette et al., 2011](#)). Mais un modèle bio-économique peut aussi être davantage utilisé comme un outil prospectif, sans chercher à reproduire un état de départ proche de la réalité puisqu'on simulera des scénarios sur le moyen-long terme d'un futur possible ([Delmotte et al., 2017](#)).

Un second point que l'on peut discuter est que le modèle est statique : il ne simule que l'évolution d'un assolement d'une année à une autre ce qui limite la portée des indicateurs, sans projection à moyen terme, ou sur une rotation à proprement parler. Cela pourrait permettre de mieux valoriser les cultures pérennes dans le choix des modèles en prenant en compte leur rentabilité globale sur toute la durée de leur présence au champ. Nous avons commencé à aborder cette problématique avec le lavandin pour que le modèle décide d'en planter sans contrainte explicite, mais cela ne s'applique qu'aux surfaces déjà plantées dans l'assolement initial (par exemple sans lavandin enherbé dans l'assolement initial, le modèle n'a pas de comparaison possible pour planter de lui-même du lavandin enherbé), et nous n'avons pas adapté cette formule (cf Equation 3) aux autres plantes pérennes (sauge, luzerne et sainfoin). Coder une version

dynamique du modèle peut donc être complémentaire pour avoir une vision d'ensemble de l'impact agro-environnemental des pratiques agricoles dans l'état actuel des agrosystèmes mais aussi dans les simulations. De plus, prendre en compte une échelle pluriannuelle pourrait permettre d'aborder une autre définition de la résilience souvent citée mais qui n'est pas celle choisie dans le projet SemiArid : la capacité d'un agrosystème à revenir à son état initial après une perturbation, soit retrouver un même niveau de performance (Antle et al., 2018).

Une autre limite porte sur la non-prise en compte de l'espace dans le modèle. En effet, le modèle travaille à l'échelle d'un ensemble de parcelles sans prendre en compte dans le temps de travail des activités annexes comme la distillation du lavandin (donnant parfois lieu à une embauche de main d'œuvre saisonnière), l'entretien des machines, la comptabilité de l'exploitation ou encore les temps de trajets entre parcelles, et entre parcelles et siège de l'exploitation. De plus, de nombreuses cultures considérées comme minoritaires et non renseignées par Tardivo (2016) ne sont pas prises en compte ici (fenouil, immortelle, orge, SIE, arboriculture...). Ces choix peuvent se justifier par une simplification nécessaire de la réalité car on ne peut pas toujours tout prendre en compte mais qui rend difficile une évaluation du temps de travail qui soit parlante pour les agriculteurs et les acteurs du territoire.

2. Les activités agricoles et types d'exploitations agricoles

Dans la base de données, les activités agricoles sont renseignées avec un rendement associé fixe. Même si les paramètres de variabilité des rendements permettent d'approcher en partie un effet pédo-climatique, on n'utilise pas ici de modèle de culture faisant intervenir des notions de physiologie végétale en fonction des données climatiques ou de différents types de sol de chaque parcelle comme le fait le modèle STICS par exemple (Brisson et al., 2003). Il pourrait donc être intéressant d'inclure de tels modèles dans l'étude pour aborder des scénarios de changement climatique avec une augmentation des risques climatiques (températures en moyenne plus élevées, sécheresses plus intenses...). D'autant plus que le changement climatique est une thématique très prise en compte pour étudier la résilience d'agrosystèmes (Altieri et al., 2015). On se baserait alors sur les estimations du GIEC pour cette région ou sur le travail de Tardivo (2016).

Concernant les trois exploitations choisies, l'idée initiale était de dégrader l'information de ces exploitations réelles pour étudier des types d'exploitations plus représentatifs du plateau de Valensole. Par manque de temps (et de données, en particulier sur le type polyculture-élevage, non concerné par les nombreuses études préalables) nous nous sommes donc limité à étudier ces exemples d'exploitations avec une mise en garde sur leurs aspects atypiques par rapport à des types plus représentatifs, concernant notamment la part de légumineuses. L'intérêt d'une typologie, notamment dans le cadre d'évaluation d'agrosystème, est d'homogénéiser des exploitations avec des fonctionnements relativement proches, en se basant sur un certain nombre de variables (comme la surface, les contraintes, l'orientation de l'exploitation...) et donner des pistes de discussions sur les résultats plus globales avec les acteurs (Hauswirth et al., 2015 ; Tardivo, 2016). Cette typologie serait donc intéressante à réaliser en faisant une enquête plus large et/ou à l'aide d'anciennes études et de données spécifiques. A voir alors si on conserverait la diversification en légumineuses dans l'état actuel comme une caractéristique, voir un type d'exploitation à comparer avec d'autres exploitations comme expliqué plus tôt, ou si on chercherait à atténuer cette caractéristique atypique pour les trois exploitations sélectionnées.

Pour aller plus loin sur la simulation de changement de pratiques avec des simulations comme la baisse des IFT par exemple, il pourrait être intéressant d'ajouter la possibilité pour l'exploitation agricole de se convertir à l'agriculture biologique. Il faudrait ainsi renseigner les activités agricoles adaptées mais aussi les paramètres réglementaires, de prix et de variabilité des

rendements associés et les aides spécifiques que l'agriculteur peut toucher. Même s'ils sont encore peu nombreux sur le plateau de Valensole, il existe plusieurs exploitations agricoles labélisées Agriculture Biologique (AB). Sous réserve que ces exploitations montrent une relative homogénéité, elles pourraient constituer un quatrième type d'exploitation agricole intéressant à étudier si on fait l'hypothèse que le nombre d'exploitations en AB pourrait augmenter dans les années à venir sur le plateau. Plusieurs études montrant que l'agriculture biologique permet d'améliorer la résilience des agrosystèmes (Borron, 2006), il serait alors intéressant de vérifier comment cela pourrait se vérifier sur le plateau de Valensole, et pour les trois agrosystèmes déjà étudiés ici.

3. La prise en compte de bio-agresseurs dans le modèle

Les sangliers causent de graves dégâts sur le plateau et sont un important frein à l'implantation des légumineuses sur le plateau de Valensole. Nous avons tenté de prendre en compte cette problématique en réfléchissant à une pondération dans le choix de ces cultures liée à l'aversion au risque avec un coefficient de criticité sur le principe d'une AMDEC (Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité) (Ridou, 1999) en croisant pour chaque culture la fréquence de dégâts, la gravité de ceux-ci et la capacité à limiter une perte financière pour l'agriculteur (compensation financière, repousse...). Il s'avère que les dégâts de sangliers sont très aléatoires et dépendent de nombreux facteurs actuellement non pris en compte : la proximité d'une parcelle de la forêt, la proportion de cultures similaires, la taille de la parcelle (en effet une grande parcelle ou un grand nombre de cultures appétantes pour les sangliers à proximité « dilue » les dégâts), le nombre de sangliers à envahir la parcelle... De plus, la fédération départementale de chasse du 04 refuse de communiquer leurs statistiques et relevés de dégâts sur le territoire car l'information est sensible et ils craignent une mauvaise utilisation de ces données. Enfin et surtout, les indemnités versées par la fédération de chasse sont généralement suffisantes pour couvrir les dégâts de sangliers, sans causer de perte sur le revenu agricole (Prodia, communication personnelle, cf annexe 1). Comme nous maximisons le revenu avec ce modèle, le fait qu'il n'y ait plus d'impact financier ne nous permet pas plus d'être discriminant entre les cultures touchées par les sangliers et les autres. Il faudrait alors imaginer un indicateur représentant l'impact moral pour l'agriculteur, ce qui semble compliqué en l'état actuel du modèle.

Le dépérissement du lavandin et l'enherbement sont encore en étude par les organismes techniques locaux comme le Crieppam ou la CA04 et il n'existe que peu de résultats chiffrés. Nous devons donc nous contenter pour l'instant d'hypothèses, de l'observation de tendances et de dires d'experts. L'accumulation d'hypothèses peut finir par poser question, notamment lorsqu'il s'agit de modéliser l'extension du réseau d'irrigation prévue par la SCP vers la zone fortement touchée par le dépérissement. Il serait intéressant de faire varier ces hypothèses, notamment en termes de rendement et d'évolution, pour voir l'effet sur les résultats de simulations, en attendant davantage de résultats des programmes de recherche sur le terrain, qu'on peut espérer avec les travaux du coordonnés par le CRIEPPAM en collaboration avec d'autres acteurs de la filière PPAM et de chercheurs (Yvin et al., 2017).

C. Quelques éléments pour aller plus loin dans l'étude

1. D'autres indicateurs d'impact agro-environnemental

Pour aller plus loin dans la thématique de l'impact agro-environnemental des pratiques et des agrosystèmes, il serait intéressant de développer davantage les indicateurs agro-environnementaux, actuellement fortement limités à un aspect « pollution » (IFT, émission de GES, consommation d'énergie...). Les conséquences sur l'état du sol intéressent beaucoup les acteurs de Regain car les

sols sont généralement peu profonds et soumis à des problèmes d'érosion. Deux types d'indicateurs seraient intéressants à développer. Un premier indicateur quantifierait l'impact sur la matière organique du sol, mais pour être plus fin il faudrait plutôt travailler à l'échelle de la rotation complète, sur une quinzaine d'années avec un modèle dynamique ou récursif, et déterminer un état initial au vu des pratiques actuelles. Un second indicateur pourrait porter sur un impact des activités agricoles sur le risque érosif en considérant le type de travail du sol, la couverture du sol et notamment les périodes d'inter-culture. Différents modèles sont utilisés pour réaliser ce type d'évaluation, généralement des modèles spatialement explicites intégrant des processus de flux d'eau, comme le modèle SWAT (*Gassman et al., 2007*) par exemple.

Nous avons également travaillé sur des indicateurs de bilan hydrique et azoté en partant du travail des étudiants de PVD (*2018*) mais les résultats ne sont pas encore concluants et n'ont pas pu être présentés ici. Il reste donc à améliorer le code R pour pouvoir exploiter entièrement dans le modèle ces informations supplémentaires. Le suivi du drainage par exemple présente un intérêt dans un suivi de l'efficacité d'utilisation de l'eau, et un indicateur de risque de lixiviation permet d'étudier l'efficacité d'utilisation de l'azote et le risque de pollution des nappes au nitrate (*Belhouchette et al., 2011*). Ce critère de lixiviation est d'autant plus intéressant que le plateau de Valensole est désormais entièrement placé en Zone vulnérable nitrate avec une réelle problématique de pollution azotée.

2. Des scénarios à construire avec les acteurs

Dans cette étude nous avons analysé les conséquences de modifications indépendantes sur le plateau (augmentation des prix de vente du blé dur, contraintes sur les IFT...). L'intérêt pour la suite du travail serait d'étudier l'interaction entre plusieurs de ces facteurs (ex : augmentation des prix de vente du blé dur **et** des légumineuses à graines). On pourrait aussi imaginer des scénarios basés sur des changements de prix, de rendements ou de leur variabilités en lien avec des innovations techniques pour aller plus loin dans l'étude de la diversification des agrosystèmes par des légumineuses (*Mahmood et al., 2017*). Pour étudier la résilience des agrosystèmes, la construction de scénarios complexes est d'autant plus importante que les simulations réalisées ici ne font varier qu'un seul paramètre et donc induit des changements très prévisibles. Par exemple, augmenter le prix du blé dur induit une augmentation de la surface de blé dur à la place de cultures qui deviennent moins rentables : les légumineuses. Les indicateurs économiques deviennent également moins pertinents à interpréter puisque, pour le même exemple, une augmentation croisée des prix et des surfaces augmente mathématiquement le résultat global de l'exploitation.

Ces scénarios seront à construire et discuter avec les acteurs locaux, notamment ceux engagés dans le projet Regain. La mobilisation des acteurs d'un territoire comme le plateau de Valensole pour réaliser des projets est très étudiée et des méthodologies de modélisation collaborative ont vu le jour pour guider ce travail (*Delmotte et al., 2017 ; Tardivo, 2016*). Interagir avec eux permet de bénéficier de leur expertise mais permet aussi que les résultats de l'étude présentent davantage d'intérêt pour eux et contribuent à entretenir leur mobilisation dans cette étude davantage axée comme un outil de recherche qu'un outil de terrain.

CONCLUSION

L'objectif de cette étude était donc d'étudier comment les légumineuses, et plus généralement la diversification des activités agricoles, pouvait contribuer à la résilience des agrosystèmes du plateau de Valensole. Nous avons tenté de répondre à cette problématique en développant un modèle bio-économique sur l'exemple de trois exploitations réelles aux caractéristiques différentes pour représenter la diversité des agrosystèmes du plateau de Valensole.

Les différents résultats de cette étude montrent que les légumineuses sont très présentes dans les assolements actuels des exploitations étudiées et lorsqu'on simule une modification de l'environnement, leurs surfaces ont tendance à diminuer. Ce résultat est très lié à la forte variabilité du rendement et du prix de ces cultures qui leur confère un risque important pour l'agriculteur. On peut tout de même mettre en avant les simulations où les surfaces de légumineuses augmentent, ce qui pour conséquence d'améliorer les impacts environnementaux en diminuant les émissions de GES, la consommation d'énergie et l'IFT. Par contre, l'impact de la diversification des cultures et des légumineuses sur la résilience des exploitations agricoles n'est pas clairement montré ici par manque d'agrosystèmes de référence très spécialisés en lavandin et blé dur.

Cette étude mérite donc d'être approfondie en ajoutant encore d'autres exploitations agricoles comme comparaison avec ceux que nous avons déjà renseignés ici. La prochaine étape sera alors de réaliser des scénarios en croisant plusieurs évolutions possibles des marchés ou d'innovations techniques, ce qui permettra d'obtenir des résultats plus fins, en particulier sur la résilience des exploitations agricole. Il serait également intéressant de se pencher sur les conséquences du changement climatique sur les agrosystèmes en couplant le modèle bio-économique développé ici avec un modèle cultural, plus à même d'étudier les conséquences d'une modification de la température ou de la pluviométrie. De plus, le réseau d'irrigation de la SCP va se développer sur l'ensemble du plateau et cette étude peut justement permettre d'évaluer les modifications que cela pourrait entraîner, aussi bien sur les assolements que sur les performances des exploitations. Nous avons commencé à simuler ce changement sur les deux exploitations qui seraient concernées mais coupler l'étude avec un modèle de culture pourrait permettre d'aller plus loin en testant différents des itinéraires techniques ou pratiques d'irrigation ou encore estimer l'efficacité d'utilisation des ressources.

Références bibliographiques

ABSON D.J., FRASER E.D., BENTON T.G., 2013, « Landscape diversity and the resilience of agricultural returns: a portfolio analysis of land-use patterns and economic returns from lowland agriculture », *Agriculture & Food Security*, 2, 1, p. 2.

AGRESTE, 2017, « Résultats économiques des exploitations agricoles en 2015 : globalement en hausse, à l'exception de l'arboriculture et l'élevage ovin », p. 4.

ALTIERI M.A., NICHOLLS C.I., HENAO A., LANA M.A., 2015, « Agroecology and the design of climate change-resilient farming systems », *Agronomy for Sustainable Development*, 35, 3, p. 869-890.

ANTLE J.M., HOMANN-KEETUI S., DESCHEEMAER K., MASIKATI P., VALDIVIA R.O., 2018, « Using AgMIP Regional Integrated Assessment Methods to Evaluate Vulnerability, Resilience and Adaptive Capacity for Climate Smart Agricultural Systems », dans LIPPER L., MCCARTHY N., ZILBERMAN D., ASFAW S., BRANCA G. (dirs.), *Climate Smart Agriculture*, Cham, Springer International Publishing, p. 307-333.

BARTON L., THAMO T., ENGELBRECHT D., BISWAS W.K., 2014, « Does growing grain legumes or applying lime cost effectively lower greenhouse gas emissions from wheat production in a semi-arid climate? », *Journal of Cleaner Production*, 83, p. 194-203.

BELHOUCLETTE H., 2016, « Projet SEMIARID, Sustainable and Efficient Mediterranean farming systems: Improving Agriculture Resilience through Irrigation and Diversification. »,.

BELHOUCLETTE H., LOUHICHI K., THEROND O., MOURATIADOU I., WERY J., ITTERSUM M. VAN, FLICHMAN G., 2011, « Assessing the impact of the Nitrate Directive on farming systems using a bio-economic modelling chain », *Agricultural Systems*, 104, 2, p. 135-145.

BORRÓN S., 2006, « Building resilience for an unpredictable future: How organic agriculture can help farmers adapt to climate change », *Sustainable Development Department*, Rome, Food and Agriculture Organization of the United Nations.

BRAND F.S., JAX K., 2007, « Focusing the Meaning(s) of Resilience: Resilience as a Descriptive Concept and a Boundary Object », *Ecology and Society*, 12, 1.

BRISSON N., GARY C., JUSTES E., ROCHE R., MARY B., RIPOCHE D., ZIMMER D., SIERRA J., BERTUZZI P., BURGER P., BUSSIÈRE F., CABIDOCHÉ Y., CELLIER P., DEBAEKE P., GAUDILLÈRE J., HENAULT C., MARAUX F., SEGUIN B., SINOQUET H., 2003, « An overview of the crop model stics », *European Journal of Agronomy*, 18, 3-4, p. 309-332.

CERNAY C., BEN-ARI T., PELZER E., MEYNARD J.-M., MAKOWSKI D., 2015, « Estimating variability in grain legume yields across Europe and the Americas », *Scientific Reports*, 5, 1.

CHENOUNE R., ALLEN T., KOMAREK A.M., PALOMA S.G. Y, FLICHTMAN G., CAPILLON A., BELHOUCLETTE H., 2017, « Assessing consumption-production-resources nexus decisions for rice-focused agricultural households in Sierra Leone », *Land Use Policy*, 67, p. 597-607.

DELMOTTE S., COUDERC V., MOURET J.-C., LOPEZ-RIDAURA S., BARBIER J.-M., HOSSARD L., 2017, « From stakeholders narratives to modelling plausible future agricultural systems. Integrated assessment of scenarios for Camargue, Southern France », *European Journal of Agronomy*, 82, p. 292-307.

DEPHY, 2012, « IFT de référence régionaux DEPHY », p. 1.

GASSMAN P.W., REYES M.R., GREEN C.H., ARNOLD J.G., 2007, « The Soil and Water Assessment Tool: Historical Development, Applications, and Future Research Directions », *Transactions of the ASABE*, 50, 4, p. 1211-1250.

HAUSWIRTH D., PHAM T.S., WERY J., TITTONELL P., JOURDAIN D., AFFHOLDER F., 2015, « Exploiting farm typologies for designing conservation agriculture systems: a case study in northern Vietnam », *Cahiers Agricultures*, 2, p. 102–112.

HITANE S., 2018, *Modélisation bioéconomique pour évaluer la performance à l'échelle de l'exploitation agricole : cas du plateau de Valensole*, Mémoire master of science, Montpellier, CIHEAM, 60 p.

HOLLING C.S., 1973, « Resilience and Stability of Ecological Systems », *Annual Review of Ecology and Systematics*, 4, 1, p. 1-23.

JACQUET F., BOURCERET A., THOYER S., BELHOUCLETTE H., DROGUE S., HAVLIK P., RIDIER A., 2017, « Modélisation en programmation mathématique pour l'analyse économique de l'agriculture [en ligne] », 2017.

JANSSEN S., ITTERSUM M.K. VAN, 2007, « Assessing farm innovations and responses to policies: A review of bio-economic farm models », *Agricultural Systems*, 94, 3, p. 622-636.

KOMAREK A.M., DROGUE S., CHENOUNE R., HAWKINS J., MSANGI S., BELHOUCLETTE H., FLICHTMAN G., 2017, « Agricultural household effects of fertilizer price changes for smallholder farmers in central Malawi », *Agricultural Systems*, 154, p. 168-178.

KÖPKE U., NEMECEK T., 2010, « Ecological services of faba bean », *Field Crops Research*, 115, 3, p. 217-233.

LIN B.B., 2011, « Resilience in Agriculture through Crop Diversification: Adaptive Management for Environmental Change », *BioScience*, 61, 3, p. 183-193.

MAHMOOD F., BELHOUCLETTE H., NASIM W., SHAHZADA T., HUSSAIN A., THEROND O., FAHAD E., SULTANA S.R., WERY J., 2017, « Economic and environmental impacts of introducing grain

legumes in farming systems of Midi-Pyrenees region (France): A simulation approach », *International Journal of Plant Production*, 11, p. 65-88.

METAYER N., DENHARTIGH C., 2016, « Les légumes secs, quelles initiatives territoriales ? »,.

MURRELL E.G., 2017, « Can agricultural practices that mitigate or improve crop resilience to climate change also manage crop pests? », *Current Opinion in Insect Science*, 23, p. 81-88.

PETERSON C.A., EVINER V.T., GAUDIN A.C.M., 2018, « Ways forward for resilience research in agroecosystems », *Agricultural Systems*, 162, p. 19-27.

PPAM DE FRANCE, 2017, « Plan de la filière des Plantes à Parfum, Aromatiques et Médicinales »,.

PVD, 2013, *Etude préalable à l'accompagnement des acteurs dans la mise en oeuvre de bonnes pratiques agricoles sur le plateau de Valensole*, Rapport de projet de fin d'étude, ingénieur agronome option PVD, Montpellier, Montpellier SupAgro, 49 p.

PVD, 2018, *Simulation et analyse de scénarios de développement des légumineuses et de leur impact sur les bilans d'eau et d'azote sur le plateau de Valensole*, Rapport de projet de fin d'étude, ingénieur agronome option PVD, Montpellier, Montpellier SupAgro, 27 p.

RIDOUX M., 1999, « AMDEC - Moyen », *Techniques de l'ingénieur Mise en œuvre de la maintenance, base documentaire : TIB136DUO.*, ref. article : ag4220.

SCHNEIDER A., HUYGHE C., 2015, *Les légumineuses pour des systèmes agricoles et alimentaires durables*, Quae, Versailles, INRA, 515 p.

SOUISSI I., BOISSON J.M., MEKKI I., THEROND O., FLICHMAN G., WERY J., BELHOUCLETTE H., 2018, « Impact assessment of climate change on farming systems in the South Mediterranean area: a Tunisian case study », *Regional Environmental Change*, 18, 3, p. 637-650.

TARDIVO C., 2016, *La modélisation collaborative pour stimuler l'émergence d'un système agricole plus durable. Conception et mise en oeuvre d'une démarche sur le plateau de Valensole*, Thèse, AgroParisTech, 336 p.

WELSH C., 2017, *Impacts agro-environnementaux de l'irrigation des systèmes cultivés sur le plateau de Valensole.*, Mémoire de fin d'études, ingénieur agronome, spécialité Production Végétale Durable, Montpellier, Montpellier SupAgro, 46 p.

YVIN C., CHAISE E., FONTAINE M., RIVOAL J., VERDIN E., NICOLE F., JOURDAN P., SAVARIT P., GALLOIS P., 2017, « Dépérissement de la lavande et du lavandin : mise en oeuvre d'un programme de recherches appliquées afin d'apporter des solutions de lutte aux producteurs », *Innovations Agronomiques*, 55, p. 107-120.

ANNEXES

Annexe 1 : comptes rendus d'entretiens avec les acteurs du plateau de Valensole

1. Ingénieur d'étude enherbement et lutte contre le dépérissement du lavandin – CRIEPPAM

Entretien le 12/06/2018

Objectif de l'entretien : *obtenir des informations relatives dépérissement du lavandin et les moyens de lutte mis en place ou à l'étude. Ces informations serviront à confirmer les courbes d'évolution du rendement du lavandin, l'ajout d'une activité lavandin enherbé dans le modèle, et à l'élaboration de simulations d'évolution des techniques de productions du plateau qui soient réalistes.*

Les premiers essais sur la couverture du sol en lavandin ont commencé en 2008 dans la Drôme, avec comme objectif de lutter contre l'érosion des sols. Ils se sont alors aperçu que les symptômes de dépérissement diminuaient dans les zones enherbées, sans savoir par quel mécanisme. Le Crieppam s'est alors lancé en 2011 dans les essais d'enherbement du lavandin pour lutter contre le dépérissement, avec l'effet barrière physique au vol de cicadelle (80cm de haut max.) comme axe directeur.

La plupart des essais d'enherbement sont réalisés chez des agriculteurs volontaires et ce sont eux qui choisissent les espèces qu'ils veulent semer en inter-rang (triticale, orge, avoine, sainfoin, minette...) ou laisser une végétation spontanée. Le Crieppam ne veut pas limiter leurs idées pour voir tout ce qui pourrait fonctionner avec comme idée de produire un genre de catalogue avec tout ce qu'il était possible de faire comme enherbement selon les situations. Le suivi peut être réalisé par d'autres organismes (Chambre d'agriculture par exemple) mais c'est le Crieppam qui se charge du protocole et des mesures qu'il serait intéressant de faire, et qui rassemble tous les résultats puis les analyse.

En 2014, le nombre d'essais a fortement augmenté et depuis 2016, certains résultats sont confirmés, notamment le fait qu'on peut observer **une diminution de 50% des symptômes de dépérissement** en moyenne dans les zones fortement touchées (on parlera de parcelle très touchée à partir de 15% de plants ayant des symptômes). Toutefois, l'impact que cela a sur le rendement en kg d'huile essentielle est plus difficile à analyser puisqu'il faut regarder les teneurs dans les hampes florales, d'avantage que la production de biomasse. Le rendement peut toutefois augmenter jusqu'à être doublé si la zone était très touchée par le dépérissement. A l'inverse, si la zone est peu touchée on observe une légère diminution du rendement mais il n'y a pas de données chiffrées disponibles. Il n'y a pas eu de suivi du rendement d'une même parcelle étant ou ayant été enherbée pour voir l'évolution selon l'âge du plant. Il semblerait toutefois que les deux premières années du lavandin (plantation + 1ère fauche) soient les plus critiques, les plants plus vieux étant plus résistants à la contamination. L'enherbement est donc d'avantage préconisé pour le début de la plantation (2 ans). Il n'y a pas eu d'étude de fait sur l'impact sur la qualité de l'huile essentielle. Il ne semble pas que le type d'enherbement (céréale ou légumineuses pérennes) influence les résultats sur le dépérissement ou le rendement.

Depuis peu, le Crieppam s'intéresse davantage à l'impact de l'enherbement sur le sol et la concurrence (hydrique, minéral ou autre) qu'il pourrait y avoir avec le lavandin (même si d'après l'expert rencontré il n'y en aurait pas). De manière générale, on observe une légère augmentation de la matière organique labile mais il n'y a pas encore de bilan chiffré disponible, l'étude de la matière

organique serait centralisée par le PNR du Verdon. Un suivi va être fait au niveau de l'humidité du sol couvert, l'azote présent dans les feuilles et la possible restitution au sol avec des essais en station. Le Crieppam va également étudier la macro-faune favorisée par la couverture du sol et le lien possible avec la cicadelle (prédation notamment).

Des essais sont aussi réalisés en station avec des élevages de cicadelles, des études de contamination (en conditions contrôlées) mais aussi étudiées par quelles plantes (et notamment des molécules volatiles) les cicadelles sont attirées ou à l'inverse repoussées. En effet de nombreuses plantes endémiques du plateau sont des espèces hôtes de *Hyalesthes obsoletus* comme la sauge sclérée (à noter toutefois qu'on n'a jamais détecté de stolbur dans les cicadelles prélevées sur de la sauge).

La gestion de l'enherbement représente assez peu de travail supplémentaire : environ 5h/ha. Il ne faut compter que deux opérations : le semis (avec un temps d'adaptation du matériel avant et après) et la destruction du couvert par un désherbant (sélectif de préférence) et/ou un broyage. A noter toutefois que le broyage ne détruit pas totalement la plante et peut la rendre plus « agressive » et risque de repartir d'autant plus vite. Pour être efficace il faut réaliser deux à trois broyages par an. Le principal frein est donc l'absence de matériel adapté, plus que du temps de travail trop important.

Dans l'ensemble, l'enherbement de l'inter-rang semble être de plus en plus accepté par les agriculteurs puisqu'ils observent une augmentation des surfaces d'essais chez les agriculteurs avec jusqu'à 150ha. Une subvention de 200€ est allouée aux agriculteurs mettant en place un enherbement, avec comme seule contrepartie de remplir au moins une fiche technique de suivi à envoyer au Crieppam. Cette subvention est versée par le Fonds de dotation SPLP (pour Sauvegarde du Patrimoine Lavandes en Provence) créé en 2012 par le Crieppam. On n'observe pas vraiment de tendance sur le type d'agriculteurs se lançant dans l'enherbement : environ autant de conventionnels que de bio, de petites exploitations que de grosses... On peut toutefois les considérer comme des agriculteurs pionniers et novateurs.

D'autres méthodes sont plus ou moins développées et efficaces contre *Hyalesthes obsoletus* et contre le phytoplasme du stolbur : l'application d'argile kaolinite (mais peu efficace), la plantation de plants certifiés sains (assure une parcelle sans foyer initial de contamination), une préférence pour la variété de lavandin grosso qui est tolérante au stolbur (la plante est contaminée mais n'exprime pas de symptôme), même si cette tolérance commence à être contournée par endroits. On estime à 50% le taux de recours à des plants sains à la plantation, et à 80% le taux de lavandin de la variété Grosso. Même si chacune des méthodes montre une efficacité limitée, on peut espérer une diminution de la pression en dépérissement en combinant des plants sains, d'une variété tolérante, avec un enherbement de l'inter-rang. Toutefois, aucun suivi à l'échelle du plateau n'est actuellement fait pour estimer la pression du dépérissement et son évolution par zone, même s'il semble qu'il y ait une augmentation des cas de dépérissement de la zone très touchée de St Jurs et Puimoisson vers Valensole.

En dehors du dépérissement, les courbes d'évolution du rendement de C. Tardivo et de S. Hitane proposent des éléments contradictoires. Pour les spécialistes du Crieppam, le rendement sur les premières années est moins élevé que ce qu'indique C. Tardivo dans sa thèse (2016) et propose l'évolution dénommée comme « Normal » dans le graphique ci-dessous. Les courbes « irrigué », « dépéri » et « enherbé » sont adaptées de la thèse de Tardivo (cf *Figure 6*).

2. Directeur et Président de GPS

Objectif : *obtenir des informations relatives aux filières de production et la vision de la coopérative GPS sur les changements de pratiques. Ces informations serviront à l'élaboration de simulation de l'évolution des productions du plateau qui soient réalistes en prenant au mieux les contraintes des filières.*

Deux entretiens téléphoniques ont été menés : un premier avec le directeur de GPS et un second avec le président de GPS.

Directeur de GPS, entretien téléphonique le 05/06/2018

De manière générale, le directeur de GPS est sensible aux enjeux agro-écologiques, le projet Regain et les intérêts de l'insertion des légumineuses sur le plateau de Valensole mais, il est très soucieux de l'impact que cela peut avoir sur l'activité de sa coopérative GPS. En effet, le blé dur est la culture principalement commercialisée par GPS avec une possibilité d'écouler de grands volumes de production grâce à des contrats avec des industriels locaux ou à l'export, même si les prix de vente sont bas. Il n'est donc pas du tout favorable aux études sur l'insertion des légumineuses dans les agrosystèmes, notamment si cette insertion se fait au détriment du blé dur.

En effet, GPS est déjà particulièrement touché par la diminution des surfaces en blé dur au profit de cultures plus rentables pour les agriculteurs (surtout en zone non irrigable) comme les PPAM ou certaines légumineuses fourragères. Le directeur assure comprendre les problématiques des agriculteurs mais il doit aussi penser à celles de son entreprise. La diminution des surfaces de blé dur rend les frais de gestion trop élevés pour GPS et il doit déjà fermer des silos et licencier des employés. La situation est similaire dans les régions voisines où la diminution des surfaces en blé dur fait fermer des coopératives concurrentes. Sur le département 04, la production de blé dur est passée de 110 000 T il y a 4 ans à 68 000 T aujourd'hui.

GPS ne commercialise ni fourrages ni PPAM mais toutes les graines que peuvent produire les agriculteurs (céréales, oléagineux, légumineuses à graines et même des graines de coriandre avant transformation). Il commercialise donc des pois chiches mais il y a des gros problèmes de commercialisation : le marché est assez fermé et il n'est pas en contrat avec ses clients donc il doit les re-démarcher tous les ans et ils ne sont que 2 ou 3. La culture de pois chiche est assez rémunératrice pour les agriculteurs actuellement (500 à 600 €/T) mais si le marché arrive à saturation, les prix risquent de chuter à 350 €/T. D'après son expérience personnelle, le rendement est très variable selon les années et, sans accès à l'irrigation, il est plus judicieux de faire des cultures d'hiver (comme le blé dur) plutôt que des cultures de printemps comme le pois chiche. De plus, le plateau est de plus en plus touché par l'anthracnose du pois chiche et si la graine est tachée, elle n'est pas commercialisable pour l'alimentation humaine.

En perspective d'évolution, il ne voit pas comment le marché pourrait absorber une augmentation des surfaces en légumineuses, même si GPS commercialise celles à graines, car le marché n'est pas extensible. D'autre part, il ne voit pas quelle céréale pourrait être adaptée aux conditions du plateau de Valensole, similaire au blé dur en terme de marché mais avec un prix de vente plus intéressant pour les agriculteurs. Il n'a pas pu donner un seuil de production (volume ou surface) qu'il faudrait maintenir pour que la commercialisation du blé dur soit rentable pour la coopérative mais pour lui il faudrait pouvoir augmenter les surfaces au détriment des PPAM et des fourrages car la production est insuffisante aujourd'hui pour maintenir la coopérative en bon état.

Chez GPS, il y a une réflexion sur la création d'une démarche de qualité / label de type

« cultivé / transformé en France » comme on a pu le voir sur le lait. Cela permettrait d'augmenter de 30 à 40 €/T le prix du blé dur mais il n'est pas sûr que la démarche aboutisse puisqu'ils ne sont qu'un organisme de collecte.

Président de GPS, entretien téléphonique le 19/06/2018

La coopérative GPS regroupe 800 adhérents, soit 800 agriculteurs ayant des parts sociales dans la coopératives en sachant que cela regroupe des petites et grosses exploitations, que certains sont retraités ou que d'autres sont à plusieurs sur une même exploitation agricole. On alors dire que la coopérative GPS regroupe 150 exploitations agricoles qui représentent 85 à 90% des volumes produits. La contractualisation avec la coopérative n'impose pas de volumes de production aux agriculteurs, il n'y a pas de contrats individuels puisque les prix suivent le cours des marchés. La rémunération est toutefois variable selon la qualité du grain (taux protéique, taux de mitadin, poids sec...)

Certains agriculteurs font de la production de semence sous contractualisation spécifique. Il n'y a pas beaucoup de contraintes supplémentaires en production mais l'assolement est surveillé (pas de succession blé – blé) et l'agriculteur doit utiliser la semence de base de GPS. Il faut aussi faire plus attention en récolte (éviter les grains casser qui seront refusés). Généralement les parcelles choisies sont celles avec de bons potentiels de rendement et avec possibilité d'irriguer. Le prix d'achat est plus intéressant mais partiellement compensé par des coûts de productions plus importants (semences, intrants...).

Pour le président, n'y a pas de production qui soit vraiment plus difficile à vendre qu'une autre, et le volume n'entre pas en jeu ici. Même s'il y a un peu de vente directe, cela représente une très petite part du marché (par exemple lui-même écoule au maximum 1 à 2 tonnes de pois chiche sur une production d'une vingtaine de tonnes). Sa stratégie est de tester des cultures pouvant avoir un intérêt pour les agriculteurs (comme les légumineuses), et voir comment suit le marché.

Le blé dur n'est pour lui pas une culture d'avenir, trop peu rémunératrice face aux PPAM ou aux productions de semences très rentables. Cela pourrait même remettre en question la céréaliculture sur le plateau de Valensole. Toutefois pour couvrir les frais de fonctionnement et attirer les industriels qui commandent en grandes quantités il ne faudra pas dépasser un volume de production de 20 000T de blé dur, en dessous duquel la commercialisation deviendrait difficile pour GPS. Sur les dix sites de collectes, deux ou trois serait susceptibles de fermer mais pas plus. GPS étant leader sur la commercialisation du grain en tout genre dans la région, il est indispensable que la coopérative se diversifie sur de nouveaux marchés comme les légumineuses. Mais d'après lui, la démocratisation des légumineuses sur les exploitations agricoles en France ne se fera que si ces cultures sont suivies d'actions politiques et notamment de compensations financières.

3. Directeur de la SCA3P

Entretien téléphonique le 18/06/2018

Objectif : *obtenir des informations relatives aux filières de production et la vision de la coopérative SCA3P (spécialisée dans les PPAM). Ces informations serviront à l'élaboration de simulation sur l'évolution des productions du plateau qui soient réalistes.*

La production d'huile essentielle de lavandin sur le plateau de Valensole est environ de 600 à 700 T. Mais beaucoup d'agriculteurs stockent leur surplus de production et s'assurer une réserve à revendre en cas de problème financier ou d'incident cultural. Cette pratique, en plus d'être une assurance pour l'agriculteur, permet d'éviter de payer une taxe à la MSA s'il dépasse son équilibre charge/produit. On n'est pas sur une logique de vente selon la fluctuation des prix du marché puisqu'ils sont assez stables au cours de l'année (22 à 23€ / kgHE de lavandin Grosso), et avec une légère variabilité selon les années (tendance à l'augmentation). La crainte de la SCA3P n'est pas que le marché chute et que les prix baissent, le directeur s'inquiète d'avantage que les prix augmentent trop et qu'il ne trouve plus d'acheteurs. Il ne faut pas oublier que le lavandin n'est pas un produit fin mais qu'il est utilisé pour les lessives ou autres.

Les surfaces plantées en lavandin permettraient de satisfaire la demande, mais à cause du stockage il y a un déficit de l'offre et le marché n'est pas couvert, d'où la tendance à l'augmentation des prix d'achat. Il n'y a donc pas de volume minimum ou maximum que doivent apporter les agriculteurs en contractualisation avec la coopérative, ils apportent ce qu'ils peuvent/veulent. En maintenant les pratiques de stockage par les agriculteurs, il faudrait une augmentation d'environ 10 à 15% des surfaces cultivées pour satisfaire le marché. Les surfaces plantées ne dépasseraient pas de beaucoup les surfaces de lavandin arrachées. A ce titre, le déperissement est vu comme une menace et l'extension du réseau d'irrigation de la SCP comme une nécessité pour les agriculteurs au nord et nord-ouest du plateau de Valensole.

La SCA3P commercialise beaucoup d'autres huiles essentielles : sauge, immortelle, thym, lavande fine... Mais à chaque fois même si les modes de gestion sont les mêmes, les échelles de vente et le système des marchés les rends difficiles à comparer. Toutefois, on peut dire que la lavande fine et la sauge sont plus difficiles à vendre à cause d'une forte concurrence de la Bulgarie et d'autres pays d'Europe de l'Est. L'AOP Lavande de Provence n'y change pas grand-chose puisque les parfumeurs ne valorisent pas la provenance des huiles essentielles.

Concernant l'avenir de la coopérative, le directeur reste prudent. Le marché des huiles essentielles se porte bien malgré la concurrence, il y a beaucoup de demande mais donc aussi beaucoup de sociétés qui s'implantent. Reste donc à savoir si les agriculteurs de la région vont continuer à travailler avec eux. Il observe un grand individualisme chez les agriculteurs, en particuliers chez les jeunes agriculteurs, moins fidèles que la génération précédente, qui préfèrent voir au jour le jour qui est le plus intéressant et qui risquent donc de se mettre à travailler avec des courtiers sans passer par la SCA3P.

Depuis deux ans, la SCA3P a embauché un technicien pour faire le suivi agronomique des agriculteurs adhérents, qui fait du conseil technique et rédige des bulletins (type BSV). Parfois la coopérative peut vendre des plants ou des semences pour des productions peu présentes comme le thym mais sinon ils ne vendent pas d'intrants : une autre coopérative s'en occupe déjà très bien.

4. Technicien en charge des déclarations de dégâts de sangliers – Prodia

Entretien mené le 17/05/2018 avec Alexia Regeasse, stagiaire à la CA04

Objectif : *obtenir des informations relatives aux dégâts causés par les sangliers sur les cultures du plateau de Valensole et les indemnités versées. Ces informations pourront servir à la construction d'un coefficient de risque/criticité et/ou d'impact économique lié à ces cultures, et serviront à l'élaboration de simulations sur l'évolution de la pression en sangliers.*

La fédération de chasse du 04 possède une carte avec par commune (ou canton) des points avec le nombre de dossiers déposés, les dégâts, etc. par an. Mais il n'accepte pas facilement de la diffuser car l'enjeu est très sensible.

Les pois et pois-chiche (+ petits pois) sont particulièrement touchés mais bizarrement, cette année il y a eu très peu de dégâts au semis, il faudra donc voir pour la récolte. Sur ces cultures on monte facilement à 100% de dégâts mais ça reste très variable (selon le nombre de sanglier sur la parcelle (cf plus loin), la surface occupée par cette même culture...). Le pois chiche est d'autant plus touché qu'il s'agit de la dernière culture récoltée intéressant les sangliers. Pour l'instant, la féverole est peu touchée par les sangliers mais parce qu'elle est peu cultivée sur le plateau et donc les sangliers n'y ont pas trop goûté. Sinon, il n'y a pas vraiment de légumineuses épargnées.

Les cultures de tournesol et pomme de terre sont aussi très touchées, le blé dans une moindre mesure. Le sainfoin et la luzerne sont simplement broutées avec assez peu de trous de faits dans le sol. La vesce et autres prairies sont aussi touchées mais les agriculteurs s'embêtent rarement à faire un dossier pour ça. Sur les bordures du plateau (vallées ou limitrophe Var) on trouve aussi d'autres cultures très touchées comme la vigne (mangent la cire du greffon), le maïs...

La lavande et les PPAM en général sont assez épargnées, idem pour le colza. S'ils viennent dans ces parcelles, c'est pour la matière organique du sol (fertilisation organique, semis direct, bande enherbée...). Les dégâts sont alors collatéraux mais pas volontaires. Ils restent toutefois très « précis » en ne retournant que la bande enherbée et épargne relativement le rang.

Il ne semble pas y avoir d'effet taille de parcelle sur les dégâts de sangliers puisqu'ils s'attaquent de la même manière aux petites parcelles et aux grandes. Seulement sur des petites parcelles, les dégâts sont plus importants car les sangliers y sont plus concentrés. De manière générale, les dégâts sont très variables selon l'emplacement géographique (près des vallées et points d'eau ou Var + proximité forêt), le nombre de sanglier à venir sur la parcelle (surtout que les petits font plus de dégâts que les adultes), les cultures autour (si une seule parcelle de pois chiche, c'est quasi certain qu'ils vont venir dessus). On observe aussi un effet de la sécheresse : les sangliers viennent plus facilement dans les cultures s'il n'y a plus rien à manger en forêt. Il est donc difficile de généraliser la quantité de dommages que peuvent causer les sangliers par culture.

Les indemnités sont très variables : de 500 à 30 000€, avec les plus gros dossiers pour le maraîchage (courges surtout), l'arboriculture et la production de semences (gros dégâts sur les betteraves, surtout mâles). Il y a une bonne compensation en général donc peu (voir pas) de perte économique pour l'agriculteur. Seul les cas avec des valorisations / commercialisations spécifiques comme le bio, la vente directe... ne sont pas indemnisés à hauteur de leurs espérances et engendrent donc une perte financière. Elles sont calculées pour chaque culture selon une estimation du manque à gagner : surface touchée x rendement estimé à la récolte x prix de vente. Le prix de vente de chaque culture est fixé par la fédération nationale de chasse et les fédérations

départementales peuvent faire varier ce prix jusqu'à 20% pour rester cohérent avec les prix du territoire. Pour du foin, on se situe autour de 110 ou 120 €/T par exemple. Il n'y a pas de condition à respecter pour être indemnisé, sauf sur certaines cultures considérées comme à risque (le pois chiche est considéré comme tel, mais pas encore le pois fourrager) ou spécialisées (production de semences), où l'installation d'une clôture est obligatoire pour être indemnisé.

Il existe peu de moyens de lutte que peuvent mettre en place les agriculteurs. Le semis direct (et les autres méthodes favorisant la matière organique) semble efficace car les sangliers se concentrent sur la matière organique du sol et les vers et laissent les semences. Les clôtures électriques sont efficaces lorsque le temps est humide, mais dès qu'il fait sec le courant ne passe plus et les sangliers passent plus facilement. L'autre problème des clôtures c'est que quand le sanglier prend le jus, il est déjà à moitié passé. Il préfère donc continuer que faire marche arrière, et en plus il ose moins ressortir de la parcelle à cause du courant et fait plus de dégâts. Si l'agriculteur en fait la demande, la fédération de chasse peut aider à hauteur de 50% le financement d'une clôture. Dans le Var, la fédération installe elle-même des clôtures en dur, qui sont beaucoup plus solides et donc efficaces que les clôtures pouvant être changées de parcelles.

On observe une répartition hétérogène des dégâts de sangliers avec des zones du plateau plus touchées que d'autres. Les forêts abritent les sangliers, surtout les parties où il n'y a pas de chemins de randonnées ou autre, à condition qu'il y ait un point d'eau. Les zones les plus touchées sont celles près des vallées de l'Asse, la Durance, le Verdon et le lac de Ste Croix. Le centre du plateau est sec et moins propice aux sangliers qui n'ont nulle part où s'abreuver. De plus, il y a moins de cultures du côté du Var, les sangliers remontent donc plus facilement vers les parcelles cultivées. Les communes de Quinson, Gréoux, Ste Croix, et Montagnac sont donc particulièrement touchées. Les axes routiers ont peu d'impact sur les sangliers, mise à part l'autoroute, protégée par une importante barrière.

Enfin, aucune mesure n'est vraiment prise pour diminuer les populations de sangliers sur le territoire. Seule la chasse est efficace mais il y a des enjeux différents pour les chasseurs qui veulent être sûrs d'en trouver quand ils vont chasser pour le loisir. La fédération de chasse a donc intérêt à ne pas trop diminuer les populations de sanglier. Il y a une incompréhension entre les chasseurs qui craignent de tuer trop de sangliers, et les agriculteurs qui veulent diminuer la pression de sanglier. La réintroduction du loup semble efficace pour réguler les populations de sangliers. A priori, il y a une bonne prédation (poils de sangliers dans les excréments de loup) mais ils ont aussi pour effet de regrouper les sangliers ce qui multiplie considérablement leurs dégâts.

Annexe 2 : Graphiques supplémentaires pour illustrer la partie résultats

a. Calibration

Tableau 5 : Comparaison des assolements observé et simulé pour calibrer le modèle sur chaque agriculteur. Les cultures en gris sont celles pour lesquelles le modèle n'avait pas de choix et qui sont donc peu intéressantes à observer.

Calibration EA1	Assolement (ha)		Assolement (%)		Ecart	
	Culture	Observé	Simulé	Observé	Simulé	(ha)
Blé Dur	55	54,88	24,6%	24,5%	-0,12	-0,2%
Lavandin 1	19	19,02	8,5%	8,5%	0,02	0,1%
Lavandin 2	13	13,00	5,8%	5,8%	0,00	0,0%
Lavandin 3	10	10,00	4,5%	4,5%	0,00	0,0%
Lavandin 4	7	7,00	3,1%	3,1%	0,00	0,0%
Lavandin 5	9	9,00	4,0%	4,0%	0,00	0,0%
Lavandin 6	10	10,00	4,5%	4,5%	0,00	0,0%
Lavandin 7	8	8,00	3,6%	3,6%	0,00	0,0%
Lavandin 8	10	10,00	4,5%	4,5%	0,00	0,0%
Lavandin 9	9	9,00	4,0%	4,0%	0,00	0,0%
Lavandin 10	9	9,00	4,0%	4,0%	0,00	0,0%
Pois	17	16,54	7,6%	7,4%	-0,46	-2,7%
Colza	0	0,24	0,0%	0,1%	0,24	-
Sauge 2	7,5	7,5	3,3%	3,3%	0,00	0,0%
Sauge 3	7,5	7,5	3,3%	3,3%	0,00	0,0%
Pois Chiche	24	23,82	10,7%	10,6%	-0,18	-0,8%
Féverole	9	9,50	4,0%	4,2%	0,50	5,6%
SOMME	224	224	100%	100%	-	-
Calibration EA2	Assolement (ha)		Assolement (%)		Ecart	
	Culture	Observé	Simulé	Observé	Simulé	(ha)
Blé Dur	25	25,00	38,5%	38,5%	0,00	0,0%
Lavandin Dep 1	6	5,71	9,2%	8,8%	-0,29	-4,9%
Lavandin Dep 2	4	4	6,2%	6,2%	0,00	0,0%
Lavandin Dep 3	6	6	9,2%	9,2%	0,00	0,0%
Lavandin Dep 4	6	6	9,2%	9,2%	0,00	0,0%
Pois	0	0,09	0,0%	0,1%	0,09	-
Colza	0	0,04	0,0%	0,1%	0,04	-
Sauge 1	4	4	6,2%	6,2%	0,00	0,0%
Pois Chiche	7	7,03	10,8%	10,8%	0,03	0,4%
Féverole	0	0,14	0,0%	0,2%	0,14	-
Location (Luzerne)	7	7	10,8%	10,8%	0,00	0,0%
SOMME	65	65	100%	100%	-	-
Calibration EA3	Assolement (ha)		Assolement (%)		Ecart	
	Culture	Observé	Simulé	Observé	Simulé	(ha)
Blé Dur	17	16,76	18,9%	18,6%	-0,24	-1,4%
Lavandin 1	10	9,66	11,1%	10,7%	-0,34	-3,4%
Lavandin 2	10	10,00	11,1%	11,1%	0,00	0,0%

Lavandin 3	9	9,00	10,0%	10,0%	0,00	0,0%
Lavandin 4	5	5,00	5,6%	5,6%	0,00	0,0%
Pois	0	0,17	0,0%	0,2%	0,17	-
Colza	0	0,03	0,0%	0,0%	0,03	-
Sainfoin 1	3	3,41	3,3%	3,8%	0,41	13,5%
Pois Chiche	5	5,10	5,6%	5,7%	0,10	1,9%
Féverole	0	0,33	0,0%	0,4%	0,33	-
Luzerne 1	6	5,55	6,7%	6,2%	-0,45	-7,4%
Luzerne 3	10	10,00	11,1%	11,1%	0,00	0,0%
Luzerne 5	15	15,00	16,7%	16,7%	0,00	0,0%
SOMME	90	90	100%	100%	-	-

b. Simulation d'augmentation du prix de vente du blé dur

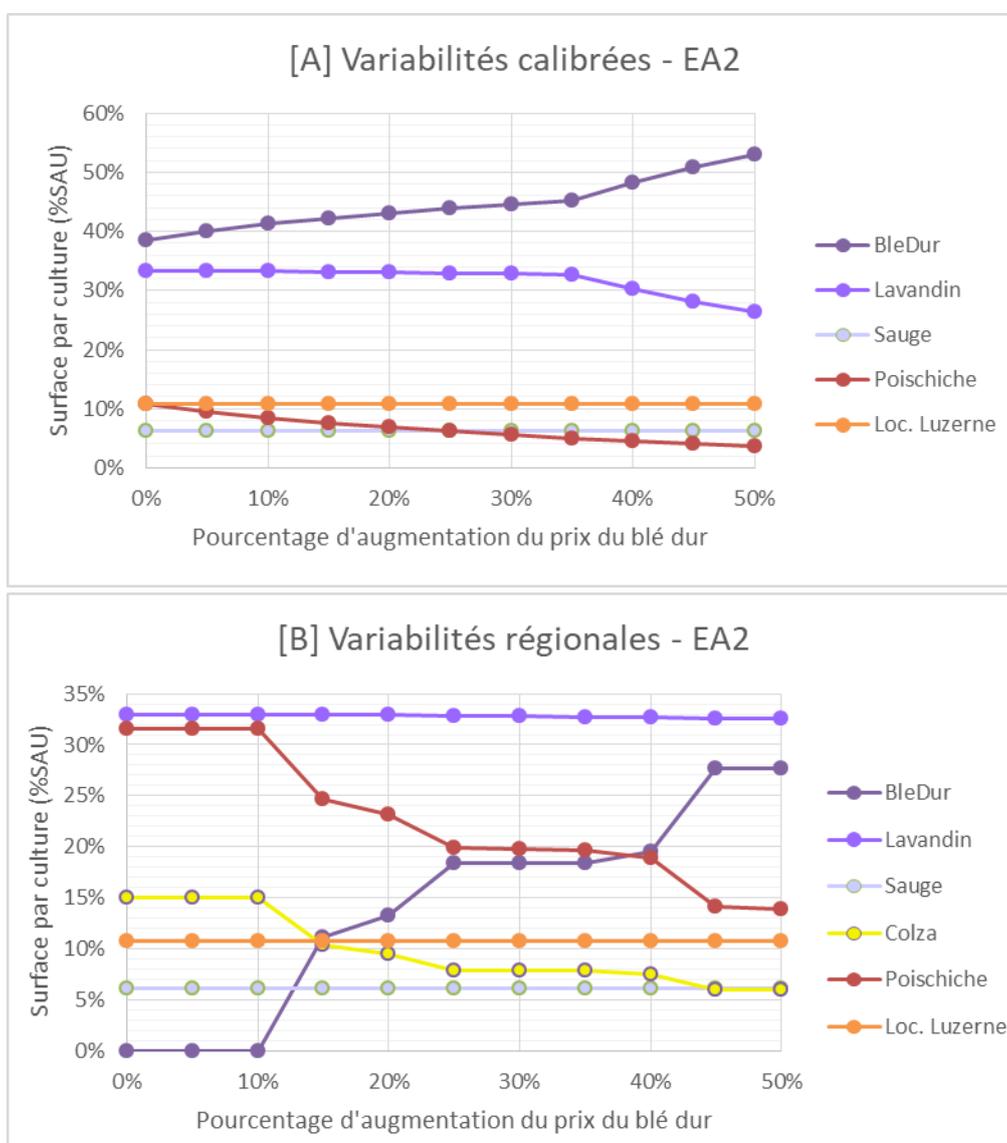


Figure 23 : Evolution de l'assolement de l'EA2 dans le cas des variabilités calibrées [A] et régionales [B] pour une augmentation progressive du prix de vente du blé dur (pas de +5%)

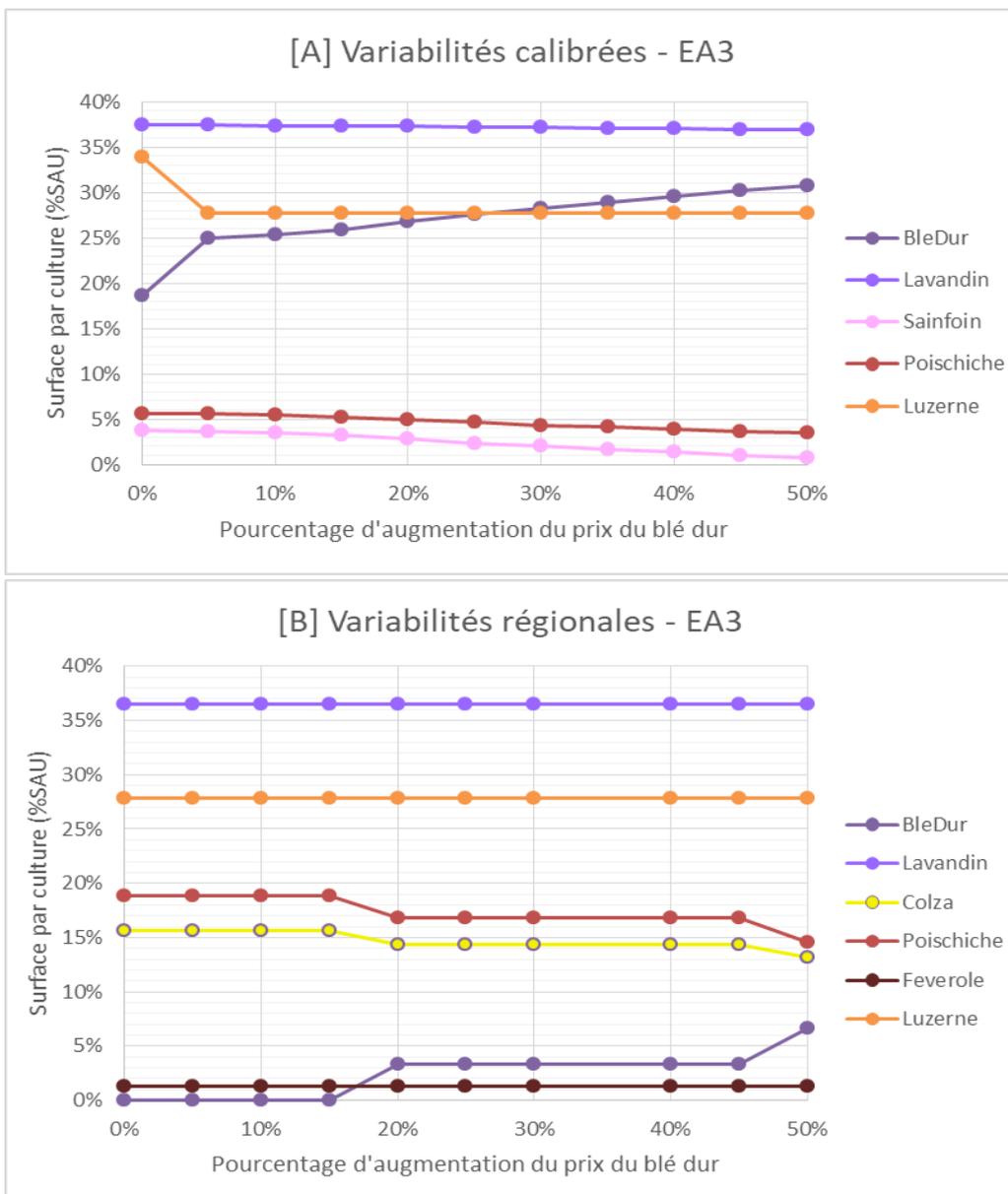
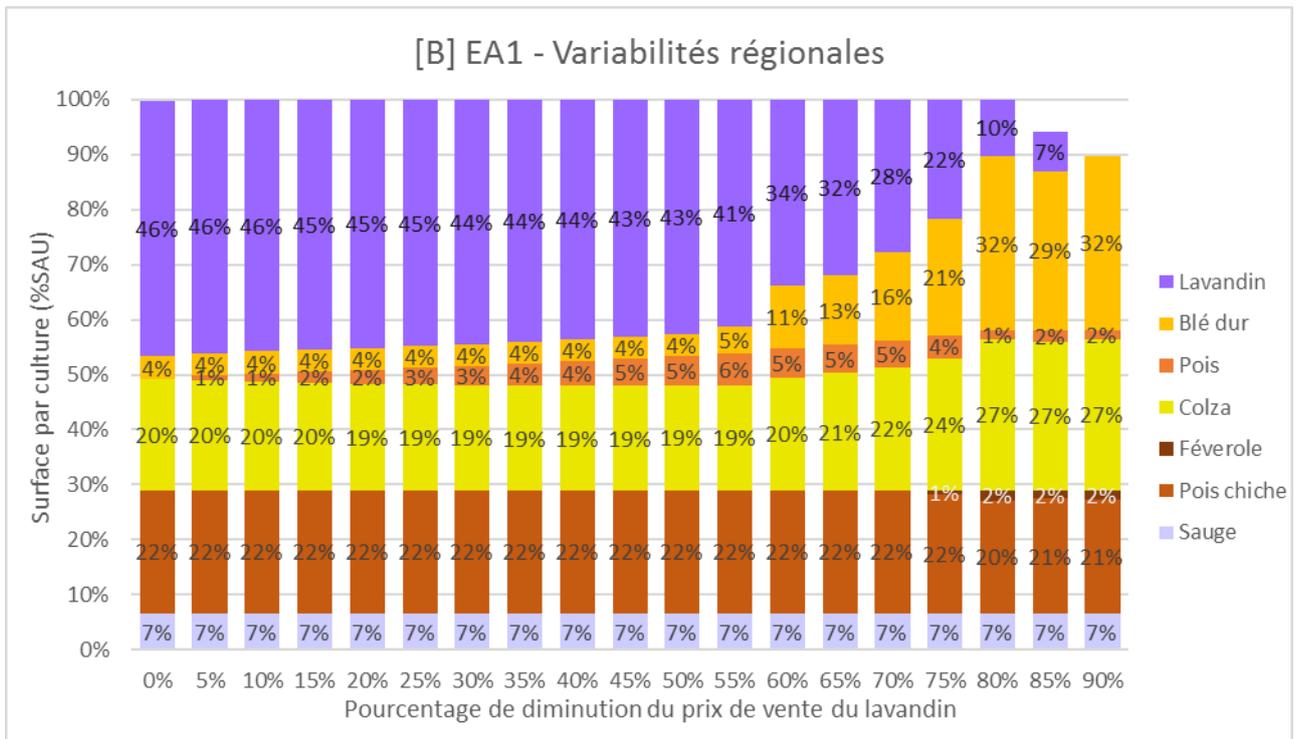
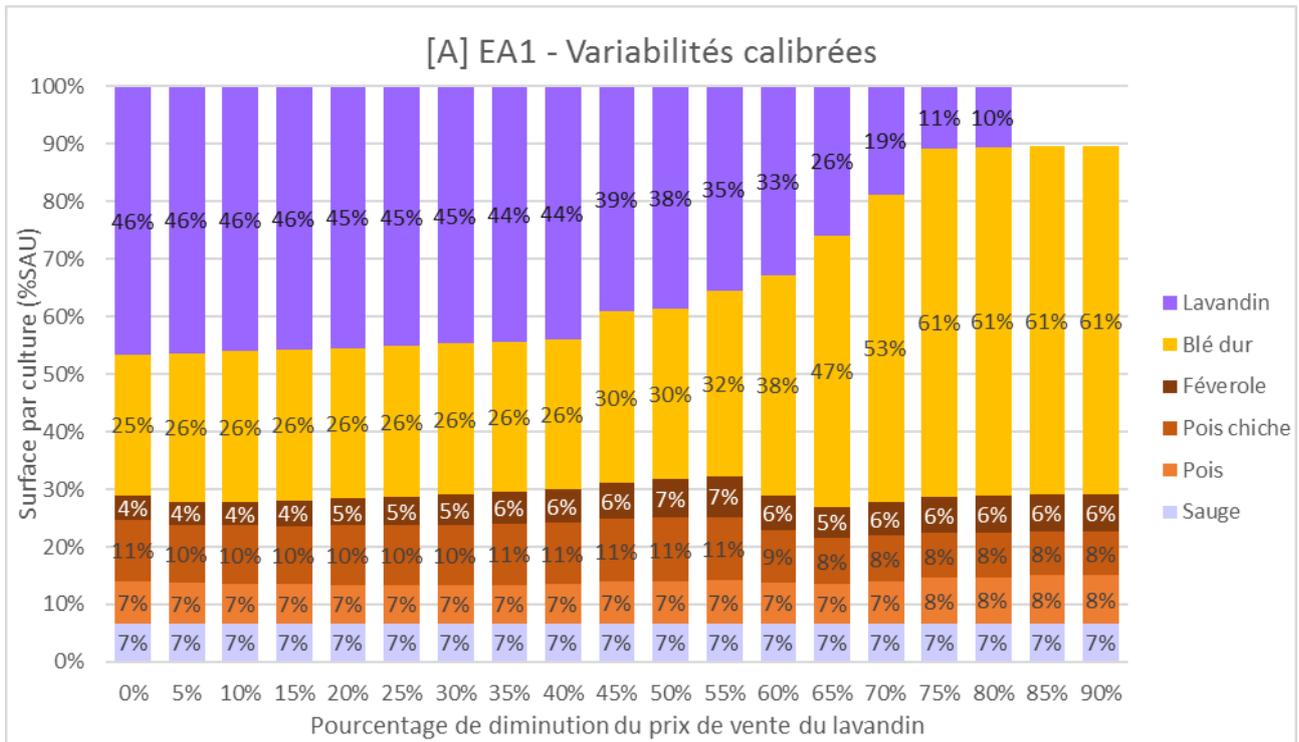


Figure 24 : Evolution de l'assolement de l'EA3 dans le cas des variabilités calibrées [A] et régionales [B] pour une augmentation progressive du prix de vente du blé dur (pas de +5%)

c. Simulation de diminution des prix de vente du lavandin



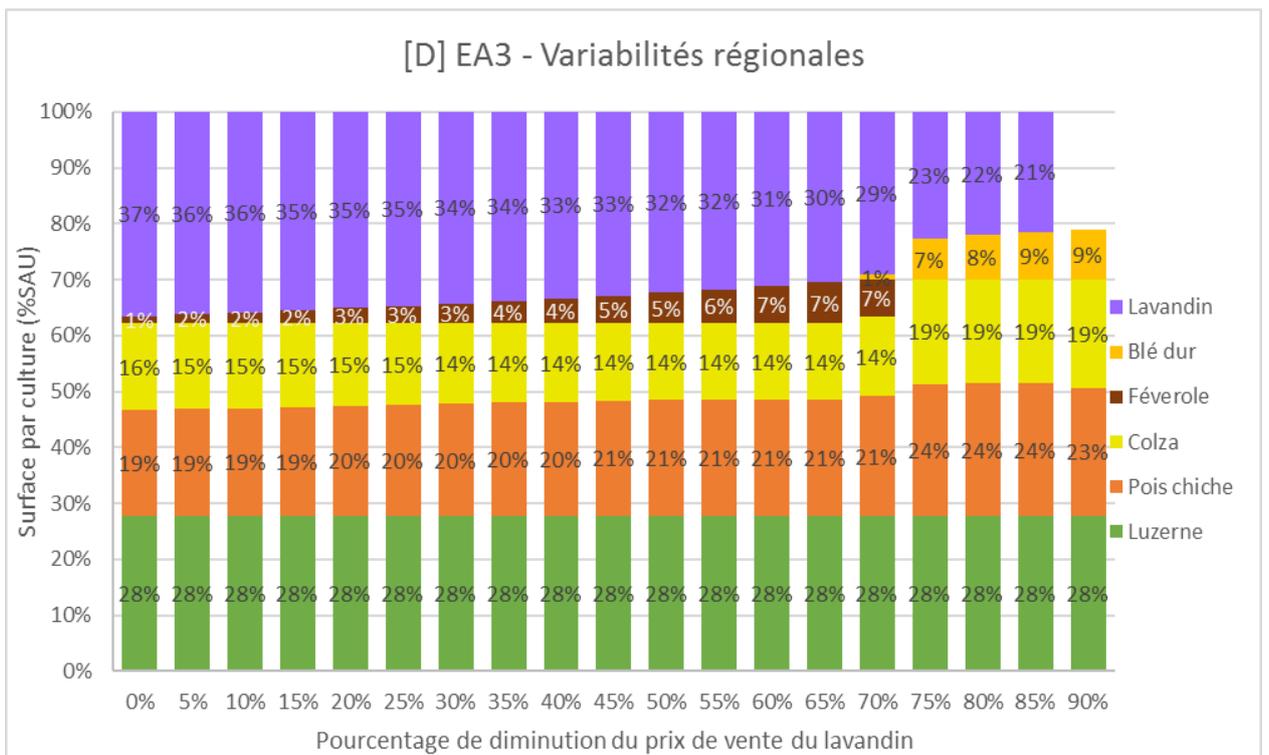
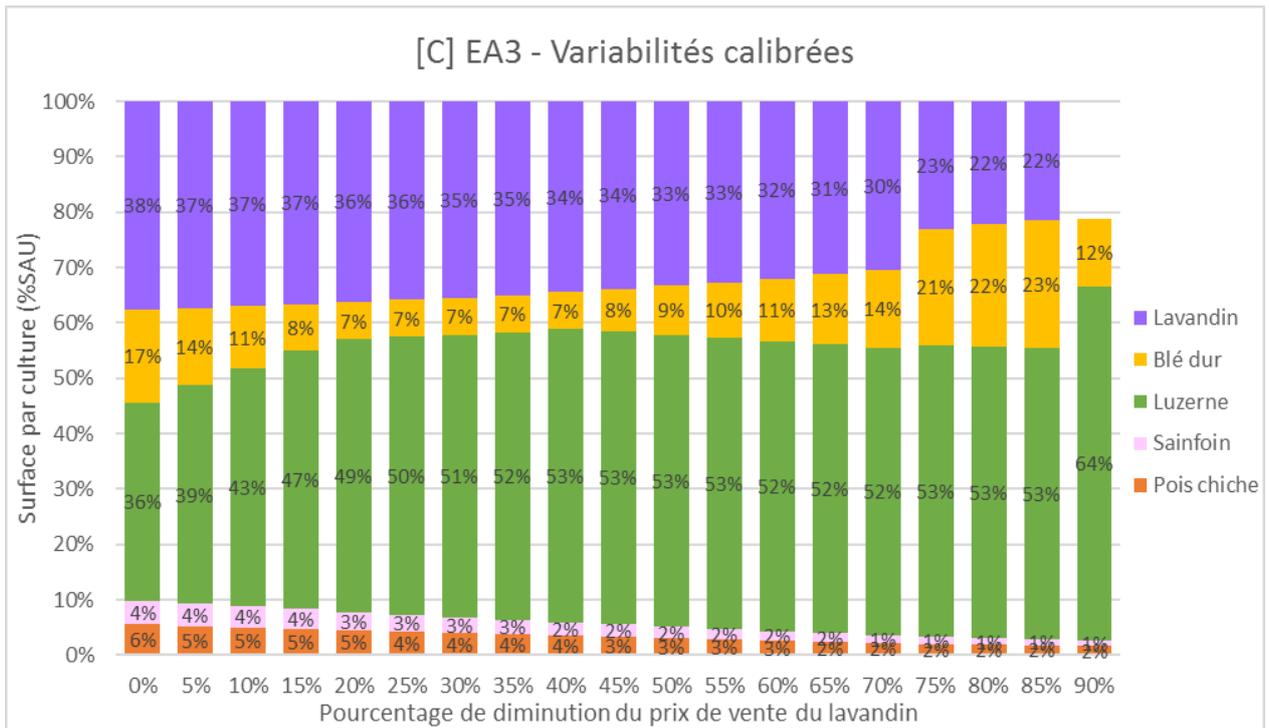


Figure 25 : Evolution des assolements de l'EA1, variabilités calibrées [A] et régionales [B], de l'EA2 variabilités régionales [C] et de l'EA3 variabilités régionales [D] pour une baisse du prix de vente du lavandin (par pas de -5%).

d. Simulation de diminution des IFT

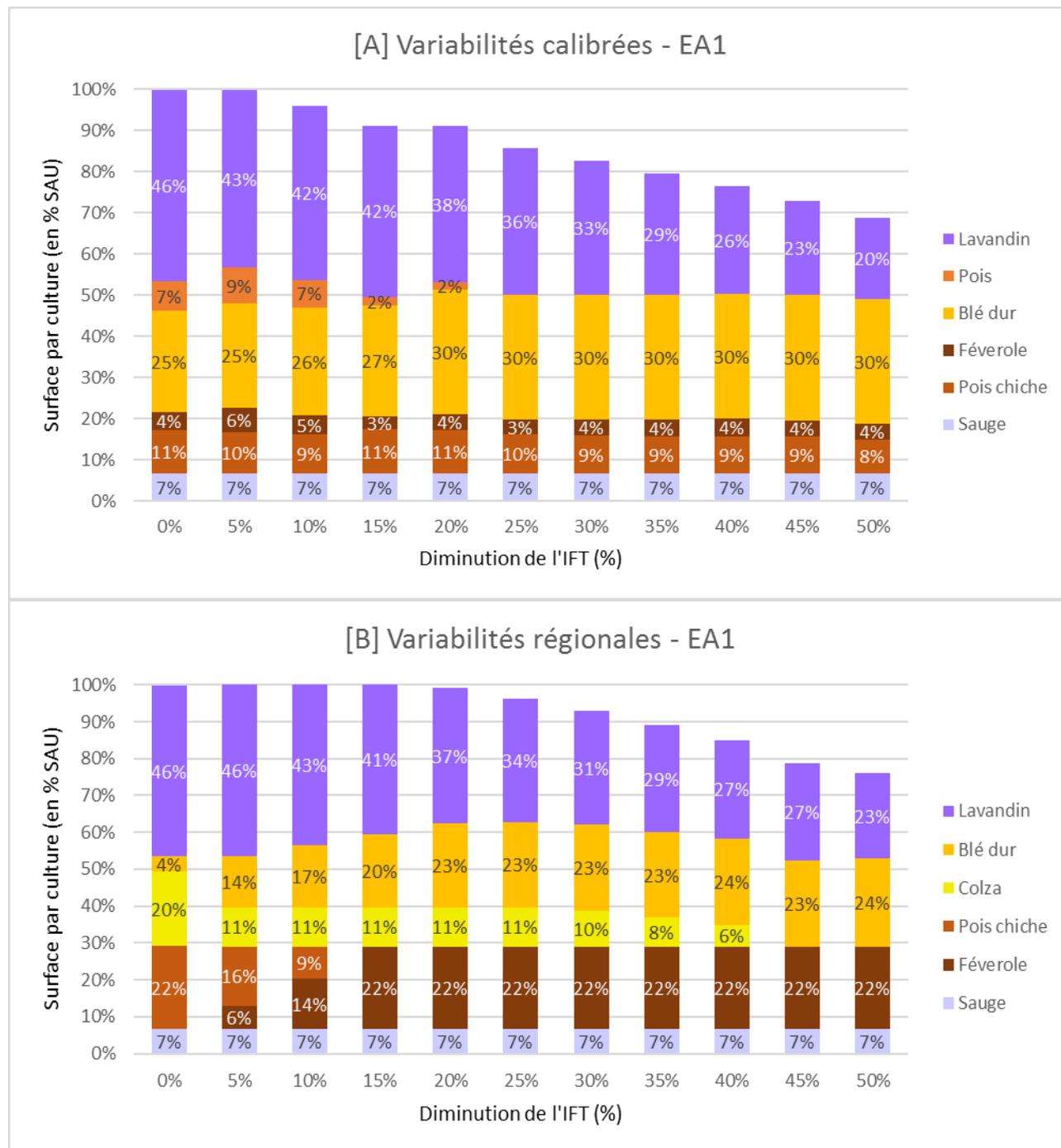


Figure 26 : Evolution de l'assolement de l'EA1 pour les variabilités calibrées [A] et régionales [B] pour des simulations de diminutions de l'IFT.

Résumé

Le plateau de Valensole, est concerné par plusieurs problématiques : écologiques avec une importante pollution aux nitrates, sanitaires avec le dépérissement du lavandin, économiques avec une filière blé dur mise en difficulté par des prix faibles et une filière légumineuse difficile à construire ou encore climatiques avec des périodes de sécheresse de plus en plus longues et intenses. Les acteurs du territoire, ayant conscience de ces enjeux, ont mis en place le projet Regain pour encourager les pratiques agro-écologiques et cette dynamique en fait un territoire de choix pour étudier les agrosystèmes et leur possible évolution. La diversification des activités agricoles est souvent citée comme facteur d'amélioration pour ces problématiques grâce à différentes actions : meilleure efficacité de l'utilisation des ressources, sécurisation du revenu agricole, diminution de la pression des bio-agresseurs et amélioration de la résilience des agrosystèmes.

Dans l'objectif d'analyser la contribution de la diversité des activités agricoles à la résilience des agrosystèmes du plateau de Valensole, nous avons utilisé et amélioré différents travaux réalisés sur ce territoire, notamment une base de données des activités agricoles du plateau et un modèle bio-économique construit sur la base d'une exploitation réelle. Le travail réalisé dans cette étude a d'abord consisté à ajouter de nouvelles cultures dans la base de données et à adapter le modèle bio-économique sur deux nouvelles exploitations agricoles. Nous étudions donc trois exploitations réelles du plateau présentant des caractéristiques différentes : la première est située dans la zone irrigable du plateau, la deuxième est touchée par le dépérissement, et la troisième est en polyculture-élevage. Nous avons alors utilisé le modèle pour réaliser plusieurs séries de simulations sur trois thématiques : (a) la modification des marchés en jouant sur les prix de vente du blé dur, du lavandin et des légumineuses à graines, (b) l'évolution d'alternatives techniques avec le développement du réseau d'irrigation sur tout le plateau ou l'enherbement du lavandin, et (c) un changement de réglementation en diminuant les IFT.

On constate dans les résultats que le rôle que pouvait jouer les légumineuses en tant que cultures de diversification n'est pas autant mis en avant que l'on pouvait supposer. Le fait que nos trois exploitations agricoles soient initialement très diversifiées avec une importante part de légumineuses a pour conséquence qu'on observe une tendance générale à la diminution de leur surface pour des cultures plus rentables et plus sécurisantes comme le blé dur ou le lavandin, les principales cultures du plateau de Valensole. Nous mettons tout de même en avant un rôle des légumineuses dans la diminution de l'impact agro-environnemental de systèmes étudiés, mais les résultats sur les conséquences sur la résilience de ces systèmes, quantifiée par le maintien de leur structure et de leurs performances demandent à être affinés davantage. L'étude devra être poursuivie en ajoutant d'autres exploitations agricoles actuellement peu diversifiées en légumineuses pouvant servir de point de comparaison avec les trois exploitations étudiées, notamment concernant l'impact des légumineuses sur les performances et la résilience des agrosystèmes. Aussi, ce travail pourra aller plus loin en construisant des scénarios complexes qui croiseront les simulations testées ici. L'objectif est d'obtenir des résultats plus fins pour tirer de meilleures conclusions sur le rôle que peuvent jouer les légumineuses dans les agrosystèmes du plateau de Valensole.

Mots clés : modélisation bio-économique, activité agricole, légumineuses, diversification, résilience, plateau de Valensole.

Pour citer ce document : [Lefevre, Thibault, 2018. Etude de la contribution de la diversité des cultures et des activités agricoles à la résilience des agrosystèmes du plateau de Valensole. Mémoire d'Ingénieur Agronome, option Production Végétale Durable, Montpellier SupAgro. 77p.]

Montpellier SupAgro, Institut national d'études supérieures agronomiques de Montpellier, 2 place Pierre Viala, 34060 Montpellier cedex 02. <http://www.supagro.fr>