



# MEMOIRE DE FIN D'ETUDES Eva Fontanel

Magali WILLAUME  
Enseignante référente  
Ecole Nationale Supérieure Agronomique de  
Toulouse  
Av. de l'Agrobiopole, 31326 Auzeville-Tolosane

## Fertilité des sols en culture de lavandin sur le plateau de Valensole

Analyse de l'effet de pratiques agricoles sur  
les sols et vulgarisation des résultats

Sophie DRAGON-DARMUZEY  
Tutrice de stage  
Parc naturel régional du Verdon  
Domaine de Valx, 04360  
Moustiers-Sainte-Marie







## Résumé

Les sols sont au cœur des interactions entre les plantes et les organismes vivants, et sont ainsi le support premier des activités humaines. Néanmoins, cette ressource limitée est largement dégradée par les êtres humains et l'agriculture depuis de nombreuses années. La fertilité des sols est une notion essentielle à la compréhension de leur fonctionnement et pour reconquérir leur qualité. Le plateau agricole de Valensole, situé dans le Parc naturel régional du Verdon, concentre des enjeux de dégradation des sols et de pollution de l'environnement par l'agriculture. Il est donc nécessaire d'identifier des solutions agronomiques pour réduire l'impact des systèmes agricoles sur l'environnement et les sols, tout en restant vivables pour les professionnels. Sur le plateau de Valensole, la qualité des sols d'un ensemble de parcelles volontaires – appelé le Réseau Sol de la Démarche REGAIN – a été analysée en 2017 et 2019. Il avait été montré que certaines pratiques agricoles influencent les indicateurs de fertilité des sols. De ce fait, en 2021, il a été décidé de synthétiser les résultats du Réseau Sol au sein d'un guide pédagogique destiné aux agriculteurs du territoire. Ce guide a vocation de sensibiliser à l'agroécologie, mais surtout de leur transmettre l'ensemble des résultats du projet. Pour ce faire, une nouvelle analyse statistique de l'effet des pratiques agricoles sur des indicateurs de fertilité des sols a été réalisée. En complément, le « test du slip » a été expérimenté (détérioration d'un morceau de coton dans le sol), dans le but d'observer l'activité microbienne du sol. Les résultats obtenus par ces études confirment le bénéfice de plusieurs pratiques, comme l'enherbement inter-rang de lavandin et des apports de matières organiques, pour favoriser des indicateurs biologiques comme la biomasse microbienne, l'abondance de nématodes libres et les différentes fractions de matières organiques (liée et libre). L'état sanitaire de la culture a également été étudié mais l'effet de pratiques prometteuses, comme l'enherbement inter-rang, n'a pas été prouvé dans la présente étude.

**Mots clés :** fertilité des sols – lavandin – agroécologie – enherbement inter-rang

## Abstract

Soils are at the heart of interactions between plants and living organisms, and are thus the primary support for human activities. Nevertheless, this limited resource has been largely degraded by humans for many years, and particularly by agriculture. Soil fertility is an essential concept for understanding how soils are functioning and we can restore their health. The "plateau de Valensole", located in the Regional Nature Park of Verdon, combines issues of soil fertility losses and environmental pollution by agriculture. Agronomic solutions are therefore needed to reduce the impact of agricultural systems on the environment and soils, while remaining socially acceptable and sustainable for professionals. On the "plateau de Valensole", a set of selected plots has been studied in terms of soil quality in 2017 and 2019 – called the REGAIN Approach "Soil Network". It had been shown at that time that several agricultural practices influenced soil fertility indicators. As a result, in 2021, it was decided to synthesize the results of "the Soil Network" in an educational guide for local farmers. This guide aims to make them aware of agroecology, and above all to share all the results of the project. For this purpose, a new statistical analysis of the effect of agricultural practices on soil fertility indicators was carried out. In addition, the "underwear test" has been implemented to identify soil microbial activity, burying a piece of cotton cloth in the soil. These studies confirm that several practices, as cultivating plants between Lavandin's rows and bringing organic matter in the cropping system, are improving biological indicators such as microbial biomass, free nematodes abundance and organic matter fractions (stable and labile). Furthermore, the Lavandin crop's health has been studied but the beneficial effect of promising practices, such as covering the soil between Lavandin rows, has not been proven in this study.

**Key words:** soil fertility – Lavandin – agroecology – cover crop in inter-rang

## Remerciements

Je souhaite remercier en premier lieu Sophie Dragon-Darmuzey pour la confiance qu'elle m'a accordée en m'offrant ce stage et tout au long de celui-ci. Je te remercie également pour ta disponibilité et ton suivi qui m'ont permis de m'épanouir dans cette expérience et cet environnement nouveau pour moi. Et surtout un grand merci à toi pour avoir partagé ton expérience avec moi ce qui m'a grandement aidé à conforter ma volonté de travailler sur la question des sols en agriculture.

Je tiens également à remercier particulièrement les agriculteurs et agricultrices partenaires du projet qui ont su être disponibles lors de mes sollicitations, et plus globalement pour m'avoir donné l'envie de travailler avec et pour un réseau agricole dynamique et impliqué comme le Réseau REGAIN.

Merci également aux partenaires et professionnels qui ont été très présents et m'ont apporté l'appui technique dont j'avais besoin. Notamment Claire Marsden de Montpellier SupAgro pour sa connaissance du réseau et son analyse critique des statistiques ; Jean-Claude Lacassin de la Société du Canal de Provence pour son expertise sur les sols et le plateau de Valensole ; Camille Chauvin du Laboratoire ELISOL Environnement pour m'avoir aidé et suivie sur le volet fertilité biologique et pour son savoir sur la nématofaune. Je souhaite remercier Marlène Economides, chargée de communication au Parc naturel régional du Verdon, pour m'avoir accompagnée sur la rédaction du guide pédagogique.

Merci aux agents du Parc pour leur accueil, et pour m'avoir intégrée rapidement. Vous avez également toujours été disponibles dans le cadre professionnel, mais aussi pour partager des repas et des jeux. Au plaisir de vous recroiser bientôt, dans le Verdon ou ailleurs !

Enfin, un grand merci à l'ensemble des stagiaires et amis qui ont été un vrai soutien et ont rendu mon expérience dans le Verdon inoubliable. Merci d'avoir partagé vos expériences professionnelles, mais aussi d'avoir participé activement aux nombreuses parties de volley, de bellotte, aux randonnées et aux bivouacs, et j'en passe... On se reverra bientôt autour d'une Scipion !

# Table des matières

<b>Introduction</b> .....	<b>1</b>
<b>1. Fertilité des sols agricoles en culture pérennes</b> .....	<b>2</b>
1.1. Définitions et services agronomiques rendus par le sol .....	2
1.1.1. Qu'est-ce que la fertilité des sols ? .....	2
1.1.2. Fertilité organique et chimique du sol .....	2
1.1.3. Fertilité biologique.....	4
1.1.4. Fertilité physique .....	6
1.1.5. Services rendus par le sol en cultures pérennes .....	6
1.1.6. Comment mesurer la fertilité des sols ? .....	7
1.1.6.1. Indicateurs physiques.....	8
1.1.6.2. <i>Indicateurs chimiques</i> .....	8
1.1.6.3. <i>Indicateurs biologiques</i> .....	9
1.2. Ce qui joue sur la fertilité des sols en culture pérenne.....	10
1.2.1. Le type de sol.....	10
1.2.2. Les pratiques agricoles.....	10
1.2.2.1. <i>Le travail du sol</i> .....	10
1.2.2.2. <i>La fertilisation minérale et organique</i> .....	11
1.2.2.3. <i>Les produits phytosanitaires</i> .....	11
1.2.2.4. <i>La couverture végétale inter-rangs</i> .....	11
1.2.2.5. <i>Les rotations</i> .....	12
1.3. Le contexte de l'étude .....	12
1.3.1. Le parc du Verdon, structure d'accueil .....	12
1.3.2. Le territoire d'étude.....	13
1.3.2.1. <i>Un contexte géologique et pédoclimatique particulier</i> .....	13
1.3.2.2. <i>Une agriculture qui se diversifie de nouveau depuis les années 2000</i> .....	14
1.3.2.3. <i>Le lavandin, une des cultures principales du territoire d'étude</i> .....	15
1.3.2.4. <i>Un déclin de la qualité des sols et de la biodiversité sur le territoire</i> .....	15
1.3.3. Le sujet d'étude : l'agroécologie en culture de lavandin sur le plateau de Valensole...16	
1.3.3.1. <i>Le Réseau Sol, un réseau de parcelles volontaires</i> .....	16
1.3.3.2. <i>Problématique du stage</i> .....	17
<b>2. Matériel et Méthode</b> .....	<b>18</b>
2.1. Organisation générale du stage pour répondre aux problématiques .....	18

2.1.1.	Grandes étapes de rédaction du guide .....	18
2.1.1.1.	<i>Identification du public visé et élaboration du plan détaillé</i> .....	18
2.1.1.2.	<i>Comment rendre le récit plus pédagogique ?</i> .....	18
2.1.1.3.	<i>Suivi et la gestion de projet</i> .....	19
2.1.2.	Missions parallèles : le test du slip, un outil pédagogique.....	19
2.1.3.	Organisation temporelle du stage et des missions.....	19
2.2.	Une nouvelle analyse statistique des données du Réseau Sol nécessaire pour vulgariser les résultats .....	20
2.2.1.	Comment ré-analyser les résultats du Réseau dans une optique pédagogique ? .....	20
2.2.2.	Les indicateurs choisis pour l'analyse .....	20
2.2.3.	Le regroupement des parcelles par groupes de pratiques similaires .....	22
2.2.3.1.	<i>Pour évaluer l'effet de la diversification de l'assolement et des pratiques anciennes mises en place avant la plantation du lavandin (H1)</i> .....	22
2.2.3.2.	<i>Pour observer l'effet des fertilisations du lavandin (H2)</i> .....	22
2.2.3.3.	<i>Pour étudier l'effet des techniques de gestion de l'inter-rang (H3)</i> .....	23
2.2.3.4.	<i>Pour analyser l'effet des modes de culture avec et sans intrants, sur l'efficacité économique et la vie du sol</i> .....	24
2.2.4.	La méthode d'analyse statistique .....	24
2.3.	La récolte de nouvelles données pour le Réseau Sol – le test du slip.....	24
2.3.1.	Méthodologie du test slip .....	24
2.3.2.	Méthode d'analyse .....	25
2.3.2.1.	<i>Première observation visuelle des slips comparables</i> .....	25
2.3.2.2.	<i>Analyse statistique</i> .....	25
2.3.2.2.1.	Création de groupes de pratiques et choix d'indicateurs .....	25
2.3.2.2.2.	La méthode d'analyse statistique .....	27
2.4.	Des entretiens d'agriculteurs pour intégrer des témoignages dans le guide .....	27
<b>3.</b>	<b>Résultats</b> .....	<b>28</b>
3.1.	Analyse statistique des effets des pratiques sur les indicateurs de fertilité .....	28
3.1.1.	Effet de la diversification de l'assolement et des pratiques anciennes sur les indicateurs de fertilité des sols.....	28
3.1.2.	Effet des types de fertilisation sur les indicateurs.....	29
3.1.2.1.	<i>Apport ou non de matières organiques</i> .....	29
3.1.2.2.	<i>Combinaison du type de fertilisation (organique ou minérale) et de l'herbe</i> .....	30
3.1.2.3.	<i>Types d'apports organiques (engrais, amendement)</i> .....	31
3.1.3.	Effet des techniques de gestion de l'inter-rang .....	32



3.1.3.1.	<i>Travail du sol et herbe</i> .....	32
3.1.3.2.	<i>Herbe et apports de matière organique</i> .....	33
3.1.4.	Effet des cultures avec et sans intrants sur les indicateurs économiques et de fertilité 34	
3.2.	La dégradation d'un slip, indicateur de fertilité des sols ? .....	36
3.2.1.	Création des groupes de type de sol .....	36
3.2.2.	Corrélation entre le poids des slips et les autres indicateurs .....	36
3.2.3.	Effet des pratiques et des types de sol sur la dégradation des slips .....	36
3.2.3.1.	<i>L'enherbement inter-rang</i> .....	36
3.2.3.2.	<i>Les apports de compost entre 2020 et 2021</i> .....	38
3.2.3.3.	<i>Le type de sol</i> .....	38
3.2.3.4.	<i>Le précédent cultural</i> .....	39
3.2.3.5.	<i>La fertilisation azotée</i> .....	39
3.2.4.	Restitution du test auprès des professionnels et communication .....	40
3.3.	Aperçu du guide et de témoignages .....	40
<b>4.</b>	<b>Discussion</b> .....	<b>40</b>
4.1.	Des résultats intéressants mais critiquables .....	40
4.1.1.	Critique des résultats obtenus et pistes d'amélioration .....	40
4.1.2.	Le Réseau Sol : un réseau hétérogène difficile à analyser, mais dynamique .....	42
4.2.	Toucher un maximum de professionnels et promouvoir l'agroécologie dans un contexte agricole où il est difficile de faire changer les mentalités .....	42
4.2.1.	Le guide pédagogique est-il le meilleur outil de communication pour diffuser des résultats techniques ? .....	43
4.2.2.	Le test du slip est un outil pédagogique cohérent mais qui possède des biais technique et analytique importants .....	43
4.3.	Une expérience formatrice et diversifiée au Parc du Verdon .....	44
	<b>Conclusion</b> .....	<b>45</b>
	<b>Bibliographie</b> .....	

## Table des illustrations

Figure 1: Saturation du complexe argilo-humique par le calcaire.....	3
Figure 2 : Schéma des rôles des organismes du sol impliqués dans leur fertilité..	5
Figure 3 : Lavandin en sol tassé, typique du plateau de Valensole. ....	6
Figure 4 : Les 10 fonctions du sol selon la FAO.....	7
Figure 5 : Schéma de l'organisation du PNRV en sept pôles. ....	13
Figure 6 : Localisation du plateau de Valensole, occupation du sol et zones à enjeux. ....	13
Figure 7 : Les profils des différents types de sol retrouvés sur le plateau de Valensole. ....	14
Figure 8 : Carte des assolements du plateau de Valensole en 2019. ....	15
Figure 9 : Enjeux du plateau de Valensole. ....	16
Figure 10 : Axes d'actions de la Démarche REGAIN.....	16
Figure 11 : Organisation temporelle du présent stage. ....	19
Figure 12 : Biomasse microbienne en fonction des 6 classes de pratiques agricoles mises en place entre 2012 et 2017 sur les parcelles du Réseau Sol.....	29
Figure 13 : MO liée et biomasse microbienne mesurées en 2019 selon la variable "apports de MO".	30
Figure 14 : Biomasse microbienne mesurée en 2019 selon les types de fertilisation depuis 2017. ....	31
Figure 15 : Biomasse microbienne mesurée en 2019 selon le type de fertilisation organique. ....	32
Figure 16 : Abondance de nématodes libres mesurée en 2019 selon la gestion de l'inter-rang (herbe, conduite, travail du sol). ....	33
Figure 17 : Abondance de nématodes libres mesurés en 2019 selon l'enherbement et les apports de MO. ....	34
Figure 18 : Produit annuel et charges totales annuelles à la parcelle selon la conduite. ....	35
Figure 19 : Marge directe annuelle et efficacité économique de la parcelle en fonction du type de conduite.. ....	35
Figure 20 : Biomasse microbienne mesurée en 2019 selon le type de conduite. ....	35
Figure 21 : Le poids des slips sur les parcelles du Réseau Sol, enterrés en 2021.....	36
Figure 22 : Expérimentation 2 : enherbement semé en début de culture. ....	37
Figure 23 : Expérimentation 1 : enherbement semé en début de culture puis couvert spontané.. ....	37
Figure 24 : Poids du slip et biomasse microbienne mesurée en 2019 selon le type d'enherbement de l'inter-rang.....	37
Figure 25 : Poids des slips selon les apports de compost entre 2020 et 2021.....	38
Figure 26 : Expérimentation 6 : effet du type de sol sur la dégradation du slip.. ....	38
Figure 27 : Expérimentation 10 : effet du précédent cultural sur la dégradation du slip.....	39
Figure 28 : Poids du slip selon les unités d'azote appliquées.....	39
Figure 29 : Couverture du guide pédagogique réalisé au cours de ce stage.....	40

## Table des tableaux

Tableau 1 : Budget alloué à la rédaction du guide. ....	19
Tableau 2 : variables et modalités choisies pour étudier l'effet de la combinaison de fertilisation et de l'herbe. ....	23
Tableau 3 : variables et modalités choisies pour étudier l'effet des apports organiques, engrais ou amendements.....	23

Tableau 4 : variables et modalités choisies pour étudier l'effet de la couverture du sol sur la dégradation des slips.....	26
Tableau 5 : variables et modalités choisies pour étudier l'effet des apports de MO sur la dégradation des slips.....	26
Tableau 6 : Groupes de pratiques anciennes mises en place sur les parcelles du Réseau Sol.....	28
Tableau 7 : Groupes de parcelles selon les apports ou non de MO entre 2012 et 2019.....	29
Tableau 8 : Groupes de parcelles selon les types de fertilisation (organique, minérale ou mixte) et la couverture, du sol depuis la plantation. ....	30
Tableau 9 : Groupes de parcelles selon la fertilisation (engrais ou amendement) organique depuis la plantation.....	31
Tableau 10 : Groupes de parcelles selon la conduite conventionnelle ou biologique, le travail du sol et la couverture de l'inter-rang. ....	32
Tableau 11 : Groupes de parcelles selon l'enherbement inter-rang et les apports de MO.....	33
Tableau 12 : Groupes de parcelles selon la conduite (IFT).....	34
Tableau 13 : Description es groupes de type de sol créés par HCPC sur le logiciel R.....	36

## Index des annexes

Annexe 1 : Le plateau de Valensole : localisation, entités paysagères et climat.....	
Annexe 2 : Exemples d'itinéraires techniques en lavandin sur des parcelles du Réseau Sol REGAIN.....	
Annexe 3 : Devis des illustrations commandées pour la réalisation du guide pédagogique.....	
Annexe 4 : Détail des variables choisies et classes créées pour analyser l'impact des pratiques agricoles sur les indicateurs de fertilité des sols.....	
Annexe 5 : Modalités observables pour le test du slip.....	
Annexe 6 : Effet de la diversification de l'assolement et les pratiques anciennes sur les indicateurs de fertilité des sols.....	
Annexe 7 : Effet des types de fertilisation du lavandin – apports de MO ou non .....	
Annexe 8 : Effet des types de fertilisation du lavandin – type de fertilisation (minérale ou organique) & couverture du sol.....	
Annexe 9 : Effet des types de fertilisation du lavandin – type de fertilisation (engrais, amendement, mixte).....	
Annexe 10 : Effet de la conduite (bio ou conventionnelle), du travail du sol et de l'enherbement.....	
Annexe 11 : Effet de la combinaison fertilisation organique et enherbement du lavandin.....	
Annexe 12 : Effet de la conduite sans intrants chimiques sur les indicateurs économiques et de fertilité des sols.....	
Annexe 13 : ACP et classification hiérarchique pour la création de groupes de type de sol.....	
Annexe 14 : Corrélations entre la variable du poids du slip et les autres indicateurs d'intérêt.....	
Annexe 15 : Analyse statistique du poids du slip selon les pratiques d'intérêt.....	
Annexe 16 : Sommaire du guide pédagogique réalisé et extrait d'un témoignage.....	

## Liste des abréviations

ACM : analyse des correspondances multiples	IFT : indice de fréquence de traitement
ACP : analyse en composante principale	ISMO : indice de stabilité de la matière organique
ANOVA : ANalysis of VAriances	MO : matière organique
BM : biomasse microbienne	N : azote
CAH : Complexe Argilo-Humique	ns : non significatif
CEC : capacité d'échange cationique CIHEF : comité interprofessionnel des huiles essentielles françaises	P : phosphore
C/N : ratio du carbone sur azote EBE : excédent brut d'exploitation	PAPAM : Plantes à parfum, aromatiques et médicinales
COMFOOT : empreinte métabolique	pH : potentiel hydrogène
Corg : carbone organique	PNRV : Parc naturel régional du Verdon
CRIEPPAM : Centre Régionalisé Interprofessionnel d'Expérimentation en Plantes à Parfum, Aromatiques et Médicinales	Réseau Sol : réseau de 38 parcelles volontaires suivies par le PNRV
EE : efficacité économique	RDT : rendement
EI : indice d'enrichissement	S : soufre
EA : exploitation agricole	SAU : surface agricole utile
FAO : Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture	SCP : Société du Canal de Provence
HCPC : classification hiérarchique sur composantes principales	SI : indice de structure
	uN : unité d'azote
	ZVN : Zone Vulnérable Nitrates

## Introduction

Les sols agricoles constituent une ressource primordiale dans la quête d'une agriculture durable et résiliente. Selon la FAO, ils sont le support de nombreux services écosystémiques « essentiels à la vie sur terre ». C'est aussi un lieu primordial d'échanges et de dynamiques entre les végétaux, les animaux et la matière. C'est également le cœur de nombreux cycles biogéochimiques qui sont fondamentaux pour stocker le carbone par exemple, et ainsi diminuer l'impact de l'agriculture sur l'environnement.

L'agriculture qui s'intensifie dans le monde entier depuis de nombreuses années attaque la ressource sol et pollue les cours d'eau et l'air. Le plateau de Valensole, situé au cœur de la Provence, rassemble ces enjeux de dégradation des sols et des eaux par l'agriculture et l'érosion, et combine des défis écologiques, agronomiques et sociaux. C'est en effet un territoire agricole et touristique connu pour ses champs de blé dur et de lavandin, mêlant biodiversité protégée (site Natura 2000) et protection de la ressource aquatique (Zone Vulnérable Nitrates). Par ailleurs, l'apparition du dépérissement du lavandin il y a quelques années dans certaines zones du plateau de Valensole, accroît la nécessité de trouver des alternatives durables pour lutter contre ce phénomène.

C'est d'abord autour de la volonté de préserver la fertilité des sols agricoles et de trouver des systèmes résilients, que quatre acteurs du territoire se sont rassemblés pour créer la démarche REGAIN en 2014 : le Parc naturel régional du Verdon, la Chambre d'agriculture des Alpes-de-Haute-Provence, la Société du Canal de Provence, et la chaire d'entreprises AgroSYS. Cette démarche regroupe aujourd'hui une cinquantaine d'exploitations, dont trente participent au Réseau Sol qui étudie plus spécifiquement les caractéristiques des sols agricoles du plateau de Valensole et l'impact des différentes pratiques sur leur fertilité et leur pérennité.

Le Réseau Sol a pour but de suivre des parcelles « volontaires » et d'offrir l'opportunité aux professionnels d'échanger autour des thématiques agroécologiques. Les parcelles du Réseau Sol ont été suivies une première fois en 2017, puis en 2019, grâce à des analyses de laboratoire détaillées, en termes de biologie et de chimie, et d'entretiens sur les pratiques agricoles. Deux études de ces résultats ont été réalisées en 2017 et 2019 par des stagiaires ingénieurs agronomes, et ont montré les effets de certaines pratiques agricoles sur des indicateurs de fertilité des sols, et d'état sanitaire des cultures. En 2021, il a été décidé de continuer le suivi des parcelles du Réseau Sol en proposant une nouvelle analyse de fertilité biologique du sol grâce au « test slip », qui est certes, peu scientifique mais très pédagogique. Et c'est principalement dans le souci de la pédagogie et de la transmission de l'information aux agriculteurs et agricultrices partenaires, que ce stage a vu le jour. En effet, l'objet principal de ce stage a consisté en **l'analyse et la synthétisation, pour un public agricole, de l'impact des pratiques en culture de lavandin sur la qualité des sols, l'état sanitaire des cultures et la rentabilité économique**. Pour se faire, la mission phare de ce stage était de produire un guide pédagogique sur les sols du plateau de Valensole, à destination des agriculteur.trice.s du territoire.

Pour répondre à cette problématique, il sera présenté en premier lieu un état de l'art des connaissances actuelles sur la fertilité des sols et l'impact des pratiques agricoles sur celle-ci, plus particulièrement en culture pérenne. Dans un second temps, la méthodologie de la rédaction du guide pédagogique, de l'analyse statistique et des autres missions réalisées seront détaillées. Ensuite, les résultats de l'analyse des impacts des pratiques sur la fertilité des sols du Réseau Sol et du test du slip seront présentés. Enfin, une discussion permettra de conclure sur la cohérence des résultats obtenus, de l'efficacité de la démarche de communication, mais aussi sur les apports personnels que ce stage m'aura offerts.

# 1. Fertilité des sols agricoles en culture pérennes

## 1.1. Définitions et services agronomiques rendus par le sol

Dans la mesure où le contexte pédologique de la zone d'étude – le plateau de Valensole – est particulier, la fertilité des sols dans deux milieux contraires sera abordée : en sol calcaire et en sol contenant peu de calcaire actif, c'est-à-dire décarbonaté. Il est aussi important de noter que les sols du plateau sont souvent très caillouteux. Ce contexte pédologique singulier sera détaillé dans la partie « Contexte de l'étude, 13 ».

### 1.1.1. Qu'est-ce que la fertilité des sols ?

Un sol est un milieu complexe, divisé en trois phases - solide, liquide et gazeux – et composé de matières inertes, organiques et minérales, et d'organismes vivants. Mais selon Selosse (2019) un sol n'est pas uniquement une « liste d'ingrédients, c'est un ensemble dynamique de processus réalisés par des agents ». En effet, ce milieu accueille de nombreuses interactions entre la roche mère, l'atmosphère, l'eau et les organismes du sol (Tessier, 2002 dans (Peigné 2018)). Le sol est aussi une ressource non renouvelable qui est fondamentale pour le fonctionnement des écosystèmes et plus particulièrement aux agroécosystèmes. Le sol fournit de nombreux services comme par exemple, celui de production primaire défini par la FAO (2015) comme étant le support de vie naturel de végétaux et d'animaux.

La fertilité des sols est une notion débattue depuis plusieurs années, balançant entre les capacités naturelles des sols à fournir certains services écosystémiques, et la fertilité créée par les êtres humains. Dans tous les cas, la fertilité d'un sol était souvent évaluée au regard de sa productivité mais cette vision reste biaisée car chacun possède une interprétation de la fertilité propre (Fardeau 2015). En effet, les besoins et objectifs de certains sont souvent différents de leurs voisins. On peut identifier plusieurs fertilités dans un sol : les fertilités chimiques et physiques qui ont longtemps été mises en avant, et la fertilité biologique. Mais depuis quelques années, la composante biologique d'un sol prend de plus en plus de valeur par rapport aux caractéristiques physiques et chimiques d'un sol. Par ailleurs, selon Fardeau (2015), la fertilité globale d'un sol est le résultat de nombreuses interactions entre les fertilités du sol, et non la somme des fertilités prises séparément. En effet, la complexité des échanges et des dynamiques du sol fait évoluer ce milieu en permanence.

### 1.1.2. Fertilité organique et chimique du sol

Un sol possède une texture qui est définie par la proportion de particules de terre fine, en fonction de leur taille : argile, limons, et sables (Pasquier, s.d). Il est possible de classer cette caractéristique dans la fertilité physique du sol puisque les particules les plus grossières – sables et limons grossiers – ne sont pas actives chimiquement, et que leur agencement joue davantage sur les propriétés physiques du sol. Néanmoins, l'ensemble des petites particules – argile, limons fins – sont capables de participer à des liaisons chimiques et ainsi d'impacter directement les caractéristiques chimiques du sol (entretien avec Sophie Dragon-Darmuzey).

Par ailleurs, un sol est composé à la fois d'éléments organiques et d'éléments minéraux, qui sont plus ou moins biodisponibles selon les environnements. En effet, les plantes, pour évoluer, ont besoin d'azote, de phosphore, de potassium, de calcium, de magnésium, de soufre, et d'oligoéléments. Ces nutriments peuvent être présents dans le sol sous forme libre – dans la solution du sol – et adsorbés sur le Complexe Argilo-Humique (CAH), donc facilement accessibles pour les plantes et les organismes du sol. Les nutriments peuvent aussi être liés à des particules organiques et minérales, dans des

complexes stables qui sont difficilement accessibles (Massenet 2013 ; Pasquier s.d.). Plusieurs paramètres vont donc jouer sur la biodisponibilité des éléments dans le sol, et leur accès aux racines des plantes.

En effet, le taux et la nature des matières organiques vont directement jouer sur cette biodisponibilité puisqu'elles composent ce CAH, et jouent bien d'autres rôles primordiaux dans les sols. Le CAH, étant électro-négativement chargé, permet de retenir des cations dans le sol, d'éviter leur lessivage, et d'en échanger avec la solution du sol pour les rendre accessibles aux plantes (Massenet 2013; Pasquier s.d.). Lorsque les racines absorbent un cation, elles diminuent sa concentration dans la solution du sol, ce qui entraîne un échange entre le complexe et la solution. Donc, plus la proportion d'argile et la quantité de MO sont importantes dans le sol, plus le CAH est grand et peut adsorber des ions (rétention temporaire), et en échanger avec la solution du sol. La capacité du sol à fixer des ions, ou autrement dit la capacité d'échanges passifs entre le CAH et la solution du sol, correspond à la capacité d'échange cationique (CEC) du sol (Massenet 2013). Le CAH et la CEC dépendent et influent sur le pH – potentiel hydrogène – du sol qui représente la quantité d'ions  $H^+$  libres de la solution du sol. La variabilité du pH dépend de la nature des roches, de la saison et de l'activité biologique des sols et est atténuée par le pouvoir tampon qui dépend directement du CAH. Ainsi, il est facile d'imaginer la complexité des interactions entre les différents compartiments du sol et l'impact de certains paramètres sur des propriétés du sol.

Un autre rôle majeur que jouent les matières organiques dans la fertilité des sols est la fonction nourricière. Elles sont la source d'énergie pour la vie du sol et les plantes (après minéralisation), c'est ce qui est appelé la MO fraîche ou MO « libre » et qui est composée de résidus de culture et d'organismes. Les organismes qui dégradent la MO fraîche et libèrent des éléments minéraux disponibles pour les plantes, se nomment les MO vivantes puisque ce sont des organismes vivants, aussi appelée biomasse microbienne du sol. Enfin, les MO humiques, ou MO « liées » sont stables et composent l'humus (Villenave, Kleiber, Salducci 2017; Pasquier s.d.).

Par ailleurs, certains minéraux peuvent bloquer des nutriments, les rendre inaccessibles aux plantes, ou encore impacter négativement des processus. Des taux élevés de calcaire dans le sol – cas de certains sols du plateau de Valensole – altèrent la formation du CAH et ses échanges avec la solution du sol. En effet, le calcaire libère des ions calcium qui vont saturer le CAH et « occuper l'espace » d'autres ions qui voudraient se fixer (Duchaufour et al. 2018; Pasquier s.d.) (Figure 1).

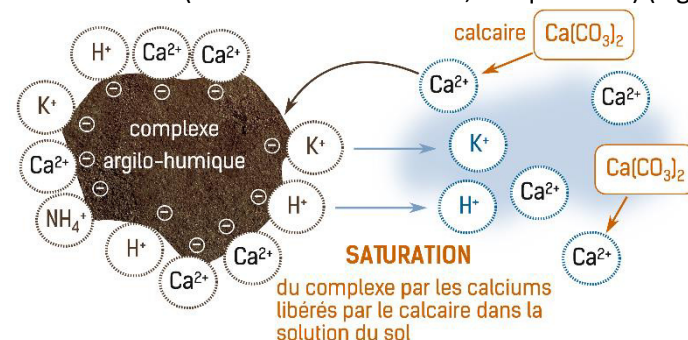


Figure 1: Saturation du complexe argilo-humique par le calcaire. Illustration de © Fabrice Hibert. D'après synthèse bibliographique par Fontanel.

Par ailleurs, le calcaire peut former un complexe minéral stable avec le phosphore (formation de phosphates tricalciques très stables), et avec le fer, ce qui rend ces éléments très peu disponibles pour les végétaux. La vie du sol va permettre de modifier le pH du sol – acidification du milieu par l'activité microbienne – ou d'hydrolyser les matières organiques par l'action d'enzymes mycorhiziennes. Cela permet d'extraire les éléments nutritifs en rendant le phosphore et le fer disponibles aux plantes

(Anfray 2017; Pédro, Mounolou 2004; Riman 2020). L'activité biologique du sol a donc un rôle particulièrement important dans la disponibilité du phosphore et du fer en sol calcaire et plus largement, sur la nutrition des plantes et donc la fertilité des sols. On peut alors parler de fertilité biologique des sols, qui correspond à la fois à la vie du sol, mais qui joue également de nombreux rôles influant sur les autres fertilités du sol et ses dynamiques.

A contrario, d'autres sols typiques du plateau de Valensole sont dits décarbonatés, c'est-à-dire qu'ils possèdent de faibles taux de calcaire (entretien avec Jean-Claude Lacassin ; Bornand, Dosso 2015). Ces sols possèdent de faibles taux de calcaire actif, ce qui est propice à de bonnes conditions de fertilité, notamment parce que les éléments sont moins bloqués.

### 1.1.3. Fertilité biologique

De nombreux organismes vivent dans le sol et ont des fonctions bien particulières, jouant sur sa fertilité. Cette fertilité biologique, ou plus largement la qualité biologique du sol, est définie par (Chaussod 1996) comme correspondant à une population importante et diversifiée d'organismes, qui œuvrent pour un fonctionnement optimal du sol. Les organismes les plus connus et souvent observés pour qualifier la fertilité des sols sont les nématodes et les lombrics.

En effet, les lombrics sont considérés comme des « ingénieurs » du sol puisqu'ils participent en grande partie à la création de porosité, et donc à la structuration du sol, en creusant leurs galeries (Anfray 2017; Pasquier s.d.). Ces galeries permettent à l'eau et à l'air de circuler dans le sol pour atteindre les racines et les autres organismes. De plus, les lombrics se nourrissent de matières organiques et minérales, qui sont fragmentées et minéralisées par les microorganismes vivant dans leur tube digestif. Ces matières ainsi transformées – les turricules – sont agrégées, stables et riches en nutriments accessibles par les autres organismes plus petits. Ils participent ainsi à l'augmentation de la biodisponibilité des éléments nutritifs du sol, à la fragmentation de la MO, à la bioturbation et à la structuration du sol (Anfray 2017).

Les nématodes quant à eux sont des micro-organismes impliqués dans de nombreuses fonctions. Ils appartiennent à une grande communauté regroupant des espèces pouvant être bactérivores, fongivores, omnivores, prédateurs et parasites des plantes (Anfray 2017; Villenave 2018; Chauvin, Villenave 2019). Malgré la mauvaise réputation des nématodes parasites des plantes, qui peuvent être de grands ravageurs des cultures, la majorité des nématodes sont bénéfiques au fonctionnement des sols puisqu'ils sont par exemple impliqués dans la dynamique des MO (minéralisation et humification). Puisqu'ils se nourrissent d'autres organismes du sol, ces vers microscopiques jouent un rôle important dans la régulation microbienne (gestion des populations de microbes par ingestion) ce qui permet de stimuler et rajeunir les populations ingérées (Anfray 2017).

Enfin, la biomasse microbienne représente l'ensemble des micro-organismes présents dans le sol, c'est-à-dire les bactéries et les champignons. Ces organismes sont largement impliqués dans la minéralisation des matières organiques du sol les rendant assimilables pour les plantes, grâce à la minéralisation, ou les stabilisants en les humifiant (Anfray 2017).

Le schéma suivant (Figure 2) synthétise les différents rôles des organismes du sol :



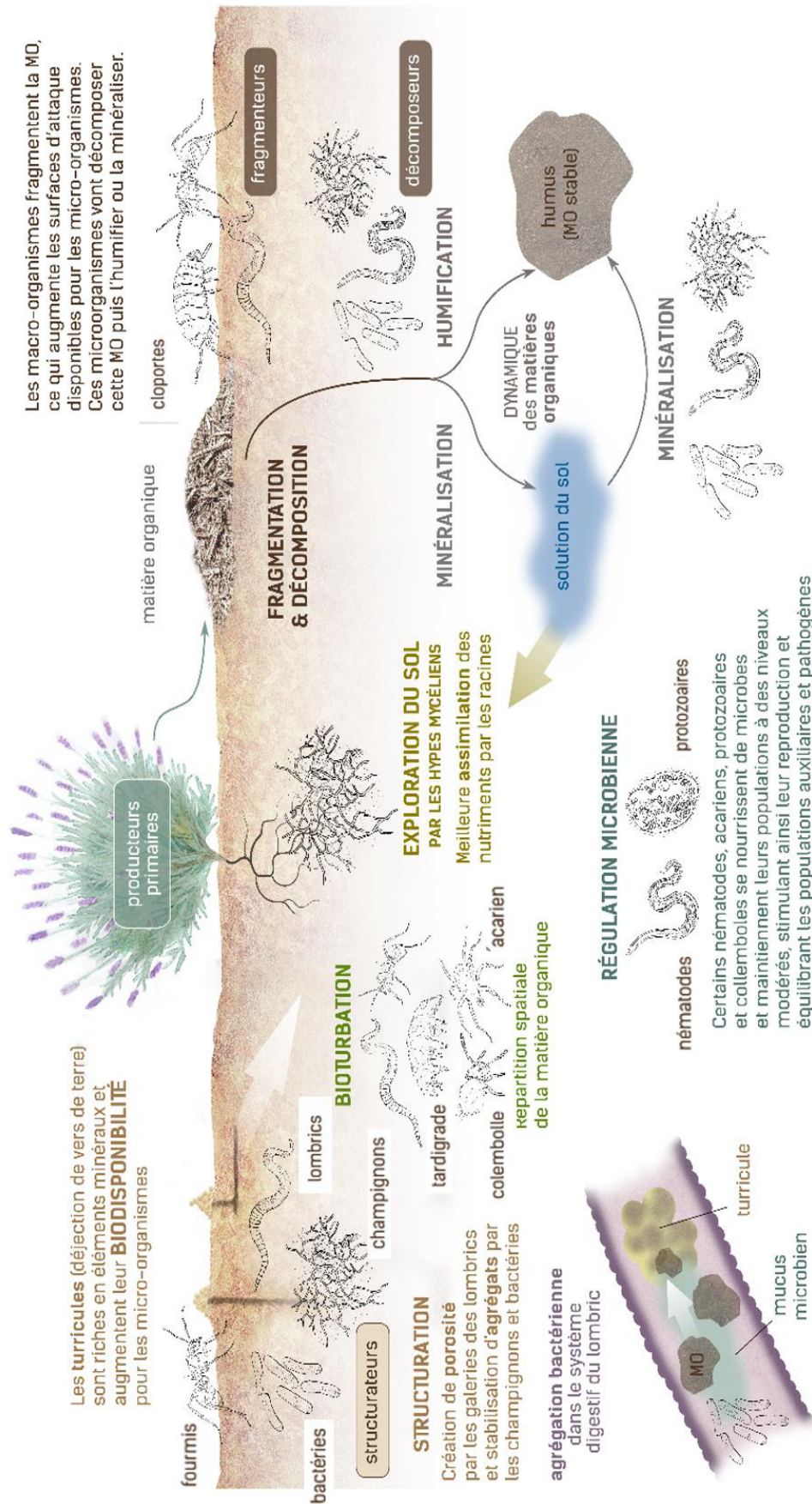


Figure 2 : Schéma des rôles des organismes du sol impliqués dans leur fertilité. Source : illustration de © Fabrice Hibert, d'après synthèse bibliographique de Fontanel.

#### 1.1.4. Fertilité physique

Un sol est un espace structuré naturellement par les actions physiques, chimiques et biologiques. Mais l'être humain peut aussi modifier la structure d'un sol en impactant l'organisation des différentes particules et sa porosité. Une bonne structure de sol est aérée, donc poreuse à l'eau et à l'air. Ces pores offrent un habitat favorable aux organismes aérobies en leur permettant de se mouvoir facilement dans ces « vides », et où les racines des plantes peuvent évoluer (Duchaufour et al. 2018). L'agrégation des particules de sol entre elles favorise les échanges gazeux et hydriques entre l'atmosphère et les profondeurs. Cette agrégation permet aussi de retenir les éléments minéraux et d'éviter leur perte dans les eaux souterraines. En revanche, un sol tassé comme c'est souvent le cas des sols du plateau de Valensole, va créer une barrière entre le sol profond et l'air, et ainsi altérer ou bloquer les échanges (Lacassin 2021a) (Figure 3). Il est donc plus difficile pour les organismes du sol et les racines des plantes de se développer et de trouver leurs sources d'énergie.

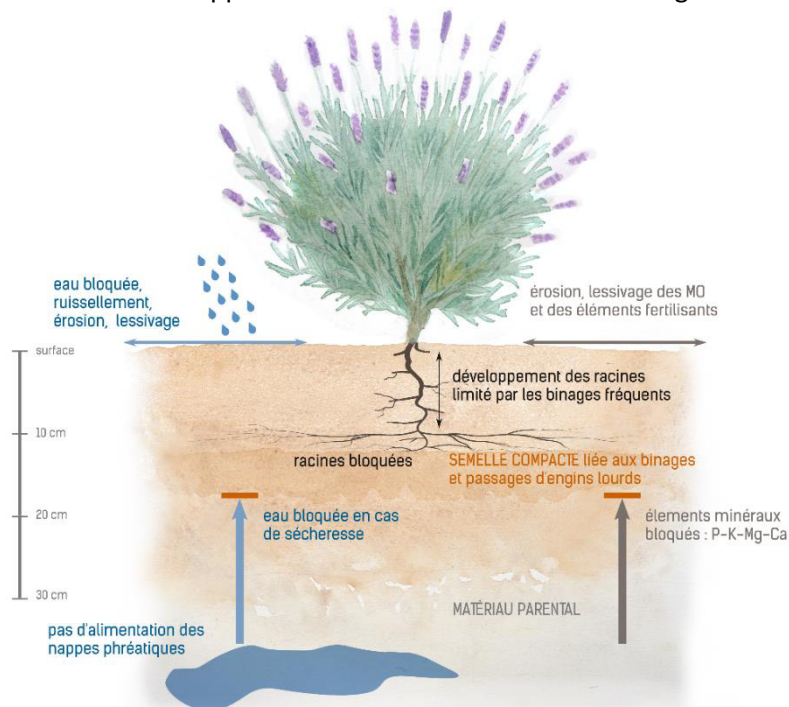


Figure 3 : Lavandin en sol tassé, typique du plateau de Valensole. Illustration de © Fabrice Hibert, d'après synthèse bibliographique de Fontanel.

Un autre avantage d'un sol bien structuré est sa stabilité face aux aléas extérieurs comme les pluies et le tassement. Dans le contexte du plateau de Valensole où les sols sont très sujets à l'érosion, il paraît important de rappeler que la vie du sol, le taux et la qualité des matières organiques ainsi que certaines pratiques agricoles sont primordiales dans la stabilisation des sols et donc pour leur fertilité.

#### 1.1.5. Services rendus par le sol en cultures pérennes

Selon le Millenium Ecosystem Assessment (Reid et al. 2005), les services rendus par un écosystème sont classés en quatre catégories : i) le service de production qui assure l'approvisionnement en ressources alimentaires, pharmaceutiques, hydrologiques... ii) le service de régulation des eaux, du climat, de l'érosion, de pollinisation, des maladies et des parasites ; iii) le service de support, de culture et d'habitat ; iv) le service culturel qui permet de préserver le patrimoine culturel et historique.

Plus précisément, le sol offre beaucoup de services qui sont recensés par la FAO (2015) en 10 fonctions allant de la séquestration du carbone, au cycle des éléments nutritifs et un habitat pour de nombreux organismes (Figure 4).



Figure 4 : Les 10 fonctions du sol selon la FAO. Source (FAO 2015).

Plus précisément, pour un sol agricole, le principal service rendu est celui de **producteur primaire** puisqu'il permet à l'Homme de cultiver des plantes, en leur fournissant un support de culture et de nourriture. Il accueille aussi une biodiversité fonctionnelle et intrinsèque qui permet de remplir le service de régulation en augmentant la capacité de **biorégulation** de l'écosystème. En culture pérenne, des essais sur lavandin ont montré l'effet bénéfique d'une couverture végétale inter-rang sur la maladie du phytoplasme du Stolbur (*Candidatus phytoplasma solani*) transmise par une cicadelle (*Hyalesthes obsoletus*) (CRIEPPAM 2019). Or, la mise en place d'un couvert joue directement sur les propriétés du sol comme sa rétention en eau, sa structure, ou encore son stock de MO. Les hypothèses émises pour expliquer cette baisse d'attaque de la cicadelle en présence de couvert sont : une barrière physique perturbant le vol de l'insecte : jusqu'à 50 % d'individus en moins sur une parcelle couverte par rapport à une parcelle nue (CRIEPPAM 2019) ; et une modification de l'écosystème permettant de favoriser une faune du sol diversifiée et prédatrice. C'est notamment le cas en vigne, autre culture pérenne, où certaines espèces végétales cultivées sur les inter-rangs permettent de modifier la richesse biologique du sol et d'augmenter le nombre de prédateurs (Beizhou et al. 2012 dans Lamacque 2020).

Toujours à propos du service de régulation du sol, ce dernier abritant une diversité d'organismes, joue directement sur les cycles biogéochimiques des éléments comme le carbone, l'azote ou encore le phosphore. Il est un lieu de stockage, de transformations, d'échanges et de recyclage de ces éléments (Walter et al. 2015).

Enfin, la notion de résilience d'un sol est incluse dans le service de support et définit sa capacité à résister aux pressions environnementales et anthropiques qui sont exercées sur lui, tout en conservant ses fonctions de support des autres services écosystémiques (Walter et al. 2015).

#### 1.1.6. Comment mesurer la fertilité des sols ?

Un indicateur est une mesure qui permet de renseigner sur un phénomène particulier. Il est souvent nécessaire de combiner plusieurs indicateurs pour obtenir une information synthétique et fiable. Un indicateur de fertilité des sols doit rassembler un certain nombre de critères (Chaussod 1996). Il être

« en cohérence avec le problème à étudier » c'est-à-dire, adapté au contexte de l'étude ; pouvoir rendre compte d'évolutions qui peuvent impacter le fonctionnement du sol ; être sensible pour montrer rapidement les variations du système ; être assez robuste pour ne pas être affecté par des modifications naturelles sur le court terme. Aussi, selon Chaussod (1996), un bon indicateur doit être facile à mettre en place et peu coûteux pour pouvoir être répété dans le temps et l'espace.

Il existe de nombreux indicateurs pour qualifier un sol, qui peuvent être physiques, chimiques et biologiques. En effet, les indicateurs physiques et chimiques sont depuis longtemps utilisés pour renseigner sur les propriétés des sols, bien qu'ils soient récents que la composante biologique entre dans l'équation (Cardona 2014). Le présent rapport présentera quelques indicateurs de fertilité des sols cohérents avec le contexte du territoire d'étude, qui seront réutilisés lors de l'analyse à venir.

#### 1.1.6.1. Indicateurs physiques

La **texture** d'un sol peut être appréciée de manière approximative avec la méthode du boudin qui peut être facilement réalisée puisqu'elle demande un peu d'eau et une motte de terre, ou par une analyse en laboratoire visant à quantifier la proportion d'argile, de limons, et de sables dans un sol. Cet indicateur informe sur les caractéristiques d'un sol, qui sont non modifiables par l'homme, mais qui influent sur la CEC, le pH et le complexe argilo-humique par exemple.

La **structure** d'un sol est un autre indicateur primordial pour comprendre ses caractéristiques. Cette structure, modifiable par les êtres humains, les plantes et les organismes du sol, reflète la fertilité d'un sol en modifiant sa capacité d'accueil favorable à des organismes du sol et des végétaux. Une structure favorable offre aussi un milieu durable et résilient, pour les activités humaines et les autres organismes vivants.

La **capacité de rétention en eau** d'un sol représente le volume d'eau qui peut être contenu dans les micropores, c'est-à-dire, une fois que l'eau des macropores a été évacuée, le sol a atteint le point de ressuyage, qui représente le taux d'humidité du sol.

#### 1.1.6.2. Indicateurs chimiques

Il est important de connaître la biodisponibilité des éléments pour les plantes afin de comprendre un aspect de la fertilité du sol. Des indicateurs de cette biodisponibilité existent pour plusieurs éléments minéraux comme le phosphore ou l'azote. Les méthodes analytiques sont encore relativement complexes, comme la méthode Olsen permettant d'évaluer les potentielles contraintes qui rendent le phosphore peu accessible pour les plantes (Fardeau 2015). D'autres analyses permettent de quantifier les **bases échangeables d'un sol** – potassium, magnésium, calcium - définissant ainsi la disponibilité des minéraux du sol aux plantes. Cependant, ces indicateurs sur les éléments chimiques du sol sont en pleine évolution et les méthodes tendent à se simplifier.

Le **potentiel hydrogène**, ou pH, permet de définir le taux d'acidité d'un sol en mesurant la concentration des ions  $H^+$  dans l'eau du sol. Cet indicateur est important puisqu'il joue directement sur la capacité des plantes à prélever des éléments de la solution du sol, sur le fonctionnement du CAH et sur ses échanges avec la solution du sol. De plus, beaucoup d'organismes du sol et végétaux sont sensibles aux variations de pH.

La **capacité d'échanges cationiques**, ou CEC, exprime la capacité du CAH à retenir des cations qui sont disponibles pour la plante. Quand la plante absorbe un cation, elle diminue sa concentration dans la solution du sol, ce qui entraîne un échange entre le complexe et la solution. Donc, plus la proportion

d'argile et la quantité de MO sont importantes, plus le CAH est grand et peut adsorber (rétention temporaire) des ions, puis en échanger avec la solution du sol.

Les **matières organiques**, ou MO, sont impliquées dans de nombreux processus biologiques et chimiques du sol : nutrition des plantes et des organismes, stabilisation des sols, rétention en eau et éléments nutritifs, ... Différencier les MO totales, libres et liées permet de mieux comprendre le fonctionnement du sol. La MO totale permet d'identifier la quantité d'éléments organiques dans le sol, mais si le fractionnement entre la matière libre et la liée n'est pas optimal (respectivement 10 % et 85 % en sol de grande culture (Salducci 2014)), alors le sol ne peut fournir une nourriture suffisante aux organismes du sol et/ou ne peut être stable sur le long terme.

Le **rapport carbone sur azote**, C/N, est aussi un bon indicateur de fertilité du sol puisqu'il traduit le rapport entre les quantités de carbone organique et d'azote dans un milieu. Il donne une indication sur la vitesse de minéralisation ainsi que sur le risque de faim d'azote. On considère que le rapport C/N optimal pour l'activité microbienne et un bon équilibre entre minéralisation et humification se situe entre 10 et 12. Au-delà de 20, les micro-organismes qui dégradent la MO vont manquer d'azote et vont aller puiser dans les ressources du sol et ainsi concurrencer les cultures : c'est la faim d'azote. De plus, lorsque l'azote du sol devient limitant, l'activité de décomposition des microorganismes est ralentie (Dragon-Darmuzey 2021).

La **teneur en carbone organique**, notée Corg évalue la quantité de carbone, donc de matière organique, qui est disponible pour nourrir les organismes du sol et indirectement les plantes, par des transferts de matière. En effet, la matière organique des sols est composée à 55 % de carbone en masse (FAO 2017) et ce carbone joue directement sur les propriétés physico-chimiques du sol : stabilisation, rétention et biodisponibilité des éléments minéraux.

#### *1.1.6.3. Indicateurs biologiques*

Les **nématodes** sont des organismes en grande majorité est bénéfique au fonctionnement des sols : biodisponibilité des éléments nutritifs, concurrence des populations pathogènes... (Chauvin, Villenave 2019; Villenave 2018). Puisqu'ils sont abondants dans tous les milieux, qu'il en existe une grande diversité, et qu'ils sont très sensibles aux variations physiques et chimiques des milieux, les nématodes sont de très bons bio-indicateurs du fonctionnement biologique du sol (Chauvin, Villenave 2019; Villenave 2018). La notion d'abondance de nématode libre est un indicateur complet puisqu'il rassemble les organismes bactérivores, fongivores, ou encore prédatrices. D'autres indicateurs peuvent être intéressants comme **l'Indice de Structure** (SI) qui traduit la stabilité du milieu, ou **l'Indice d'Enrichissement** (EI) mesurant la richesse du milieu. Aussi, l'empreinte métabolique – indice COMFOOT – renseigne sur l'activité biologique de la population de nématodes présente dans le sol.

La **biomasse microbienne** (BM) est un indicateur qui mesure l'abondance des microorganismes dans le sol et renseigne donc sur le fonctionnement biologique d'un sol, ainsi que sur sa fertilité. En effet, la BM assure différentes actions: création de porosité (drainage, enracinement), stabilité structurale (anti-érosion), etc. La BM est constituée de nombreux éléments (N, P, S, autres) et puisque cette biomasse se renouvelle rapidement dans le sol, elle rend les éléments qu'elle contient potentiellement disponibles pour les plantes. Cet indicateur est sensible aux pratiques agricoles et informe sur la qualité d'habitat physique et chimique (état structural, teneur en C et N, pollution, acidité...) qu'il offre aux microorganismes pour se développer.

Il existe de nombreux autres indicateurs comme BM/Corg ou le potentiel de minéralisation de n'azote, mais ces indicateurs ne seront pas développés dans la présente étude.

## 1.2. Ce qui joue sur la fertilité des sols en culture pérenne

### 1.2.1. Le type de sol

Le type de sol influe directement sur les populations d'organismes et leur abondance dans le milieu. En effet, les organismes vivants dans le sol sont sensibles aux paramètres physico-chimiques de celui-ci et à ses variations. Les caractéristiques qui impactent le plus ces organismes sont : la texture du sol, son pH, la structure ainsi que les taux de matière organique (Chaussod 1996).

Une première étude sur un réseau de parcelles de lavandin (Réseau Sol), avait montré que le type de sols influait peu sur leur fertilité, en comparaison à l'effet des pratiques agricoles employées (Chignier 2017). Mais l'étude de Delhal (2019) suggère que connaître le type de sol reste nécessaire pour aider à l'interprétation des indicateurs physico-chimiques d'un sol, puisqu'il impacte ses caractéristiques. En effet, une analyse de l'état structural des sols des parcelles du Réseau en 2015 a montré que la majorité des sols sont superficiels et caillouteux, ce qui limite l'enracinement des plantes et la réserve utile du sol. Ces conclusions ont été confirmées par l'étude de Kleiber du laboratoire AUREA en 2017 (Villenave, Kleiber, Salducci 2017) qui montre que les caractéristiques physiques et chimiques inhérentes au sol impactent directement sa fertilité.

Par ailleurs, la présence de certains éléments, comme le calcaire lorsqu'il est présent en grande quantité, bloque des mécanismes et restreint la biodisponibilité des éléments nutritifs pour les plantes (Riman 2020). Ainsi, la fertilité chimique du sol est impactée.

### 1.2.2. Les pratiques agricoles

#### 1.2.2.1. *Le travail du sol*

Le travail du sol transforme considérablement sa structure. En effet, le passage d'engins tasse le sol et réduit ainsi sa porosité, qui est à l'origine de son bon fonctionnement : flux des nutriments et de l'eau, mouvement des organismes, etc (Labreuche, Laurent, Roger-Estrade 2014). De plus, les outils mécaniques fissurent le sol, dans le but de l'aérer et de créer de la porosité, ou de désherber. Or de cette façon, ils détruisent les réseaux biologiques et le travail des organismes du sol (Labreuche, Laurent, Roger-Estrade 2014). Selon Labreuche et al. (2014) le travail du sol simplifie souvent la qualité de la chaîne trophique du sol (diversité des organismes). Néanmoins, un sol bien structuré est moins sensible aux perturbations liées aux machines agricoles (Chabert, Sarthou 2017). Lorsqu'il est non travaillé, un sol est structuré principalement par sa biologie intrinsèque, phénomène lent qui ne se renouvelle que plusieurs années après l'abandon du travail du sol (Chabert, Sarthou 2017). Le semis direct ou le travail réduit du sol favorisent en effet la présence d'une litière qui supporte le développement plus abondant de lombrics et de nématodes (Labreuche, Laurent, Roger-Estrade 2014).

L'étude de l'impact des pratiques agricoles en vigne sur la qualité biologique du sol a montré que le travail inter-rang diminue la biomasse et la respiration microbienne, ainsi que l'abondance des mycorhizes (Karimi 2020). Delhal (2019) a également montré en culture de lavandin l'impact négatif du binage sur les indicateurs biologiques du sol comme la biomasse microbienne.

Par ailleurs, le travail du sol accélère les processus de minéralisation puisqu'il l'aère et offre ainsi aux organismes du sol, de l'oxygène en abondance et les stimule dans leurs activités (Labreuche, Laurent, Roger-Estrade 2014). Chignier (2017) montre qu'en culture de lavandin, le désherbage mécanique induit une augmentation de la minéralisation des matières organiques du sol et ainsi une diminution du stock de carbone organique dans le sol.

### 1.2.2.2. *La fertilisation minérale et organique*

L'impact des fertilisants minéraux est largement moins étudié que celui des intrants organiques. Il est néanmoins acquis que la fertilisation azotée minérale n'aide en aucun cas le sol à se stabiliser puisqu'il apporte directement les éléments assimilables aux plantes. La fertilisation minérale a effectivement un impact négatif sur le développement des organismes du sol puisqu'elle réduit la population microbienne et son activité (Chaussod 1996). L'étude de Delhal en 2019 a montré que les parcelles de lavandins fertilisées avec des engrais minéraux présentent de faibles résultats sur les indicateurs biologiques. Mais l'hypothèse explicative de cette perte de fertilité biologique est l'effet de la combinaison de plusieurs pratiques : le non enherbement de l'inter-rang de la culture et un nombre de binages élevé.

Au contraire, des apports organiques stimulent la population microbienne du sol (Karimi 2020), qui vont œuvrer pour la structuration du sol et l'humification d'une partie de la MO qui va le stabiliser sur le long terme. Selon Chaussod (1996), la taille de la biomasse microbienne en sol fertilisée avec des matières organiques augmente de 30 % par rapport aux parcelles recevant une fertilisation minérale.

Par ailleurs, l'apport de matière organique, associée à l'enherbement inter-rang des parcelles de lavandin du Réseau Sol, semble profitable au développement des nématodes en augmentant leur abondance (Chauvin, Villenave 2019).

### 1.2.2.3. *Les produits phytosanitaires*

Il est connu depuis de nombreuses années que l'emploi de produits phytosanitaires sur les cultures, qu'elles soient pérennes ou annuelles, a un effet sur l'environnement. En effet, la non sélectivité de certains produits provoquent des dégâts directs sur les populations d'organismes, en simplifiant la chaîne trophique ou en réduisant le nombre d'espèces et d'individus. Mais les dégâts sont aussi souvent liés à la perte d'une ressource alimentaire ou d'habitat obligatoires à la présence d'organismes dans un certain milieu. Cette perte de ressource entraîne donc, par un enchaînement de facteurs, la disparition de certaines espèces du milieu, espèces qui peuvent être des auxiliaires des cultures par exemple, ou qui possèdent des rôles essentiels au fonctionnement durable de l'écosystème.

En viticulture, l'emploi de produits phytosanitaires pour le désherbage chimique des parcelles semble être en défaveur des champignons mycorhiziens et de l'abondance des nématodes. Mais cette méthode de désherbage semble favoriser l'abondance des vers de terre, en comparaison à un désherbage mécanique (Karimi 2020). Aussi, selon Peigné (2018), la préservation des organismes du sol est favorisée en absence d'utilisation de produits phytosanitaires.

Par ailleurs, en vigne, la question de l'effet de la protection des cultures sur les micro-organismes du sol est peu abordée dans la littérature scientifique (Karimi 2020). En culture de lavandin, le domaine n'est pas non plus très étoffé. Le désherbage chimique est largement employé sur cette culture, souvent en association avec un désherbage mécanique, ce qui impacte négativement la vie du sol en modifiant son environnement (Chignier 2017; Delhal 2019). Mais la lutte chimique contre les parasites n'est pas très utilisée sur cette culture. Des techniques de lutte alternatives, comme l'enherbement de l'inter-rang des parcelles, réapparaissent peu à peu et prennent de l'ampleur.

### 1.2.2.4. *La couverture végétale inter-rangs*

La couverture des sols est une pratique connue pour lutter contre la dégradation des sols. En effet, cette couverture a un rôle stabilisateur des matières et évite leur perte par érosion.

De plus, Karimi (2020) a démontré qu'une couverture de l'inter-rang en vigne permet d'augmenter l'abondance des nématodes et la biomasse microbienne dans le sol. Le travail de Delhal (2019) va dans

le sens de ces résultats, puisque l'enherbement est positivement corrélé à des valeurs d'indicateurs biologiques élevées comme l'abondance de la totalité des nématodes, la biomasse microbienne, mais aussi le pourcentage de MO libre.

Par ailleurs, dans l'étude des effets de l'enherbement en vigne (Karimi 2020), il a aussi été suggéré que la couverture du rang et de l'inter-rang réduisait la population de ravageurs et que certaines espèces pouvaient avoir un impact sur les populations de champignons phytopathogènes. Cet effet sur l'état sanitaire du sol et des cultures est aussi un axe de travail approfondi depuis plusieurs années par le CRIEPPAM puisqu'il a été montré que la couverture végétale en lavandin permettait de réduire la pression du ravageur responsable du dépérissement des plantes (CRIEPPAM 2019).

#### 1.2.2.5. *Les rotations*

La rotation des cultures est un moyen efficace pour améliorer les services de bio-régulations, puisque les cycles de ravageurs sont plus facilement interrompus par le changement de culture. Aussi la diversification de l'assolement permet d'offrir un plus large choix d'habitat et d'alimentation aux organismes vivants, ce qui améliore ainsi la diversité de population présentes, ainsi que la lutte menée par les auxiliaires de cultures contre les ravageurs.

De plus, une rotation diversifiée permet d'intégrer des espèces végétales avec des spécificités variées et avantageuses qui peuvent par exemple structurer le sol avec leurs racines pivotantes – moutarde – ou capter l'azote de l'air pour le restituer à la culture suivante après destruction, c'est le cas des légumineuses.

En culture de lavandin, la rotation des cultures semble jouer un rôle dans la diminution de la pression du ravageur responsable du dépérissement au Stolbur. En effet, Delhal (2019) a montré que des parcelles cultivées en monoculture de lavandin depuis de nombreuses années semblaient davantage sujettes à cette maladie que des parcelles recevant une rotation diversifiée. En effet, le cycle de la cicadelle, vecteur du phytoplasme, débute par une ponte dans le sol, au niveau des racines de lavandin, et se poursuit par des vols et un approvisionnement nourricier de sève de lavande (Yvin 2010).

### 1.3. Le contexte de l'étude

#### 1.3.1. Le parc du Verdon, structure d'accueil

Le Parc naturel régional du Verdon (PNRV) est un syndicat mixte qui réunit 46 communes, les conseils départementaux des Alpes-de-Haute-Provence et du Var, ainsi que le conseil régional Provence-Alpes-Côte d'Azur, autour d'une charte. Cette charte identifie des objectifs de préservation et de développement du territoire, et est valable pour une durée de 15 ans. La structure du PNRV a été classée pour la première fois en 1997 et la charte a été renouvelée en 2008 et le sera en 2023.

Le syndicat mixte est administré par un comité syndical qui rassemble les représentants de chaque collectivité adhérente, possédant un pouvoir de vote. Ils élisent un président et des vice-présidents et ensemble, ils décident des budgets, des créations de postes et des orientations. Les sources financières de la structure sont les cotisations des adhérents – des collectivités et de l'Etat – ainsi que des subventions publiques et privées.

Le PNRV est un grand territoire de 180 000 ha longeant la rivière du Verdon depuis Saint-André-les-Alpes au Nord-Est jusqu'à Vinon-sur-Verdon au Sud-Ouest. Le territoire est divisé en 7 unités paysagères, qui sont détaillées en Annexe 1, croisant de nombreux enjeux : agriculture durable, pastoralisme, préservation de la biodiversité - animaux, végétaux, milieux – et du le patrimoine culturel, sensibiliser et éduquer les populations ... Pour travailler sur ces différents enjeux, le PNRV emploie une quarantaine d'agents divisées en 7 pôles (Figure 5) :



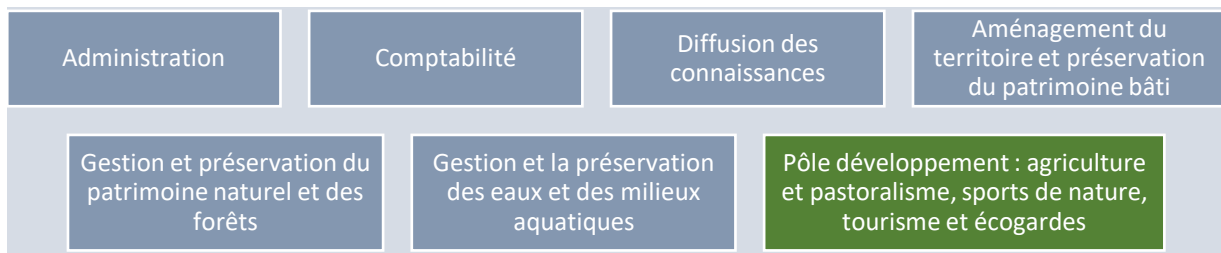


Figure 5 : Schéma de l'organisation du PNRV en sept pôles. Source : Eva Fontanel.

### 1.3.2. Le territoire d'étude



Figure 6 : Localisation du plateau de Valensole, occupation du sol et zones à enjeux. Illustration de © Fabrice Hibert.

Le territoire d'étude correspond au plateau de Valensole (Figure 6) qui s'étend sur environ 500 km<sup>2</sup> (Roman 2021) qui est principalement tourné vers l'agriculture mais qui accueille aussi un tourisme important depuis plusieurs années, notamment autour de la lavande et des plantes à parfum.

#### 1.3.2.1. Un contexte géologique et pédoclimatique particulier

Le plateau de Valensole s'est formé sur une période très longue (plus de 20 millions d'années) qui a débuté avec la formation des massifs alpins et préalpins. A cette époque, le bassin du plateau de Valensole était un grand fossé et les jeunes montagnes alpines et préalpines, qui étaient très « malléables et fragiles », ont été façonnées et érodées de façon naturelle, pour venir remplir ce grand fossé entre - 10 et - 5 millions d'années (Bornand, Dosso 2015). Plus récemment, le plateau de Valensole a été profondément entaillé par les rivières de la Bléone, de l'Asse et du Verdon et d'autres ruisseaux comme le Colostre.

Les sols du plateau sont aujourd'hui très hétérogènes, s'étalant de 400 m à 800 m d'altitude, et sont principalement définis par leur localisation (Bornand, Dosso 2015; Lacassin 2021a). **Sur les parties les plus hautes, on retrouve des sols très évolués - anciens - qui sont les sols rouges.** Ces sols sont souvent riches en cailloux, donc très séchant et retiennent peu l'eau en profondeur. Étant donné que le sol est ancien et formé sous un climat chaud et humide, en cas de destruction et/ou d'érosion, aucun retour en arrière n'est possible. **Sur les versants de pente, ce sont des sols moins évolués - plus jeunes - et plus transformés, très enrichis en calcaire.** Les sols sur poudingues affleurants sont peu épais et très caillouteux. Ils sont très sensibles à l'érosion lors de fortes pluies. Les sols sur marne sont eux aussi peu épais, souvent mal structurés, très calcaires, et très sensibles à l'érosion. Enfin, **dans les vallons, on retrouve des sols encore plus jeunes, assez profonds,** d'origine alluviale, mais qui sont aussi, vu l'étroitesse de certains vallons et vallées, recouverts par les colluvions qui descendent depuis les versants.

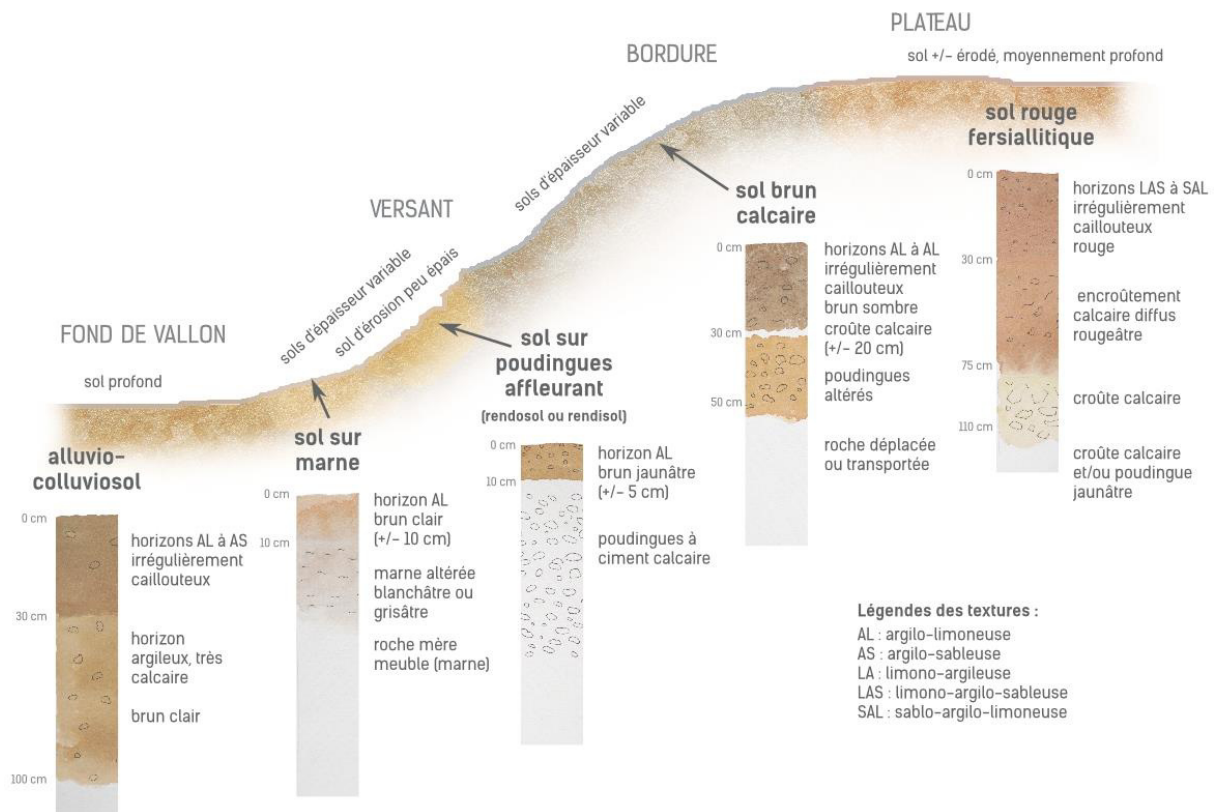


Figure 7 : Les profils des différents types de sol retrouvés sur le plateau de Valensole. Illustration de © Fabrice Hibert. Source : Lacassin 2021a ; Bornand, Dosso 2015.

Le climat du plateau de Valensole est méditerranéen et montagnard puisque les étés sont plutôt chauds, avec des températures oscillant entre 29,3 °C et 15,3 °C en août, et de -0,4 °C à 9 °C en janvier 2020 (MeteoFrance 2020), en Annexe 1. Toujours en 2020, les précipitations du mois de mai et de juin étaient les plus élevées de l'année, avec respectivement, 94,8 et 112,3 mm d'eau alors qu'il n'y a eu aucune pluies en juillet (MeteoFrance 2020), en Annexe 1.

### 1.3.2.2. Une agriculture qui se diversifie de nouveau depuis les années 2000

Historiquement, l'agriculture du plateau était tournée vers l'agro-sylvo-pastoralisme et s'est spécialisée autour des cultures de lavande, lavandin, et blé dur depuis la fin de la Seconde Guerre Mondiale (Parc naturel régional du Verdon en cours). Cette double monoculture a été développée en parallèle de l'agrandissement des parcelles, ce qui a permis une mécanisation rapide du territoire. Les surfaces et rendements en huile essentielle de lavandin n'ont cessé d'augmenter, mobilisant les ressources naturelles et mettant en tension l'environnement et les eaux de surface et souterraines.

Depuis les années 2000, l'agriculture du plateau s'est diversifiée progressivement pour quitter le modèle céréalier-lavandicole et se tourner vers de nouvelles productions adaptées au milieu. Aujourd'hui, 24 000 ha, soit 250 exploitations agricoles en productions végétales, sont cultivés sur le plateau de Valensole (Dragon-Darmuzey, Roman, Urruty 2020), où les grandes cultures laissent progressivement place à des Plantes à Parfum, Aromatiques et Médicinales (PAPAM) diversifiées comme la sauge sclarée, la coriandre, le fenouil, l'immortelle, les iris, les roses... Des cultures de diversification comme les pois chiches apparaissent pour complexifier et allonger les rotations et de plus en plus de travaux visent à introduire des couvertures végétales en inter-rang des cultures pérennes pour lutte contre l'érosion et les maladies notamment.

Aujourd'hui les PAPAM représentent 30 % de l'assolement du territoire (Figure 8), de même que les parcours, et les grandes cultures s'étalent sur 21 % de la SAU.

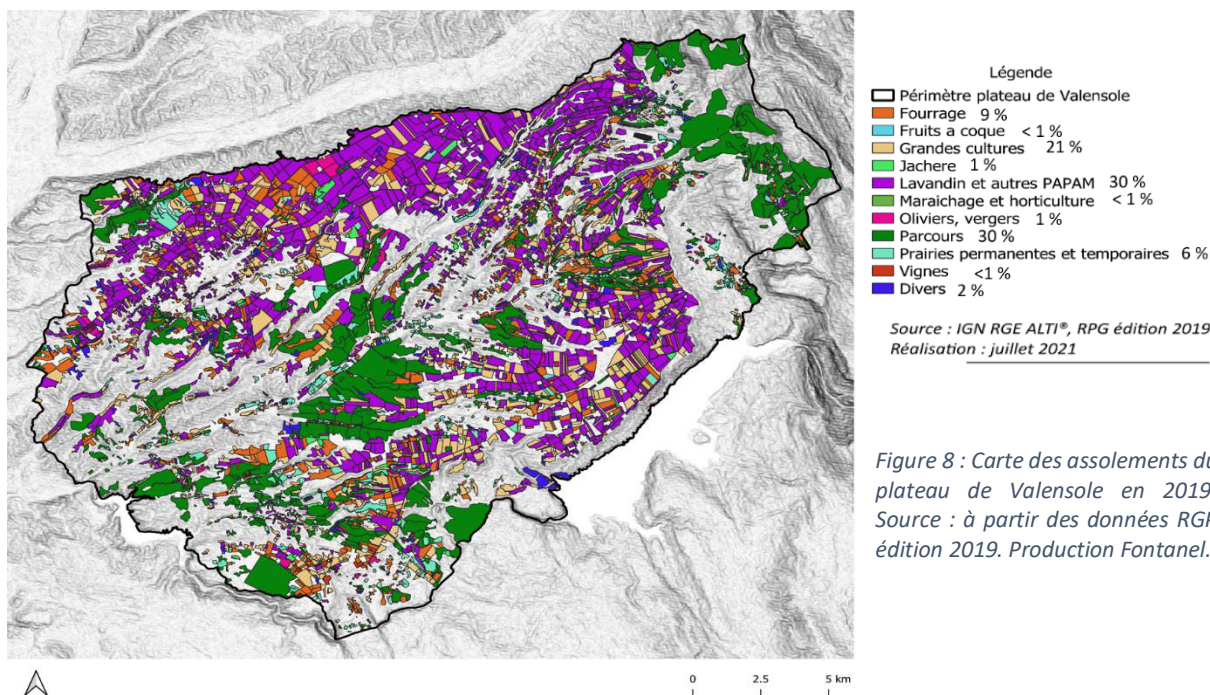


Figure 8 : Carte des assolements du plateau de Valensole en 2019. Source : à partir des données RGP édition 2019. Production Fontanel.

### 1.3.2.3. Le lavandin, une des cultures principales du territoire d'étude

Le lavandin est une culture prédominante sur le territoire. C'est un hybride entre la lavande vraie et la lavande aspic (*lavandula angustifolia* x *lavandula latifolia*) qui est cultivé sur une altitude plus large que ses ancêtres (200 m et 1000 m), il est aussi plus vigoureux (FranceAgriMer [sans date]). Aujourd'hui, selon le CIHEF, la culture de lavandin s'étale sur plus de 25 000 ha en France et représente 90 % de la production mondiale. La surface en lavande et lavandin a augmenté de 7 % entre 2020 et 2021, et un quart des surfaces françaises situe sur le plateau de Valensole : 8 446 ha en 2021 (FranceAgriMer 2021). La majorité des exploitations lavandicoles de ce territoire sont conventionnelles, fortement mécanisées et emploient des produits phytosanitaires - seulement 10 % de la SAU du lavandin est en bio. Les sols sont souvent très travaillés et les herbicides sont utilisés pour entretenir les inter-rangs.

La filière de PAPAM connaît depuis quelques années plusieurs difficultés (Chailan 2013). Le marché de l'huile essentielle de lavande et lavandin provençal très favorable depuis les années 2000 n'en est pas moins soumis à des aléas économiques et des variations à la hausse ou la baisse parfois peu prévisibles. L'apparition des produits de synthèse et l'offre à bas prix de certains pays européens concurrencent le marché provençal et ont fait chuter son prix de vente de moitié en 2020.

Par ailleurs, une autre menace fragilise le marché du lavandin : la pression des **ravageurs** comme la cicadelle et la cécidomyie, des insectes qui se nourrissent de la sève ou des feuilles (Chailan 2013). En effet, les cultures de lavande et lavandin sont de plus en plus touchés par le dépérissement au phytoplasme du Stolbur (*Candidatus Phytoplasma solani*) qui produit des dégâts considérables sur la durée de vie des plantations. Il semble donc important de trouver des techniques agricoles permettant de limiter la prolifération des ravageurs. Elles peuvent par exemple impliquer la diversification des cultures, ainsi que l'enherbement des inter-rangs.

### 1.3.2.4. Un déclin de la qualité des sols et de la biodiversité sur le territoire

Les sols de la région ne cessent de se dégrader et sont souvent peu structurés (Lacassin 2021b). Cette dégradation est liée à des pratiques agricoles relativement intensives comme le travail excessif du sol, conduisant à l'**érosion** progressive de celui-ci.

Par ailleurs, l'activité agricole du plateau menace la ressource aquatique puisqu'il y a cinq aires d'alimentation de captage d'eau potable qui sont menacées par des pollutions liées à l'agriculture. Ce territoire est notamment placé en Zone Vulnérable Nitrates (ZVN), c'est-à-dire qu'il est sujet aux pollutions azotées d'origine agricole. De plus, l'ensemble des communes du plateau sont dans un zonage Natura 2000 qui vise, via une gestion équilibrée et partagée, à protéger des espèces et des milieux.

**Finalement, les enjeux du territoire peuvent être synthétisés comme suit :**

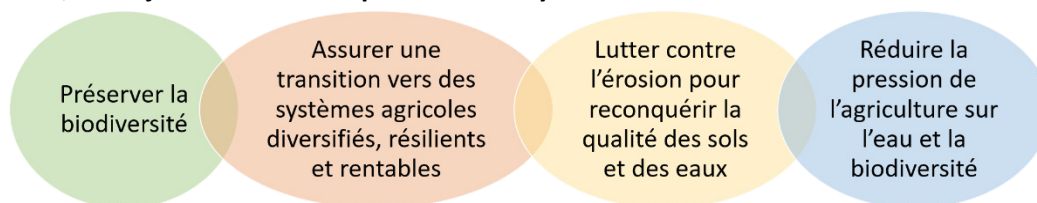


Figure 9 : Enjeux du plateau de Valensole. Source Fontanel.

### 1.3.3. Le sujet d'étude : l'agroécologie en culture de lavandin sur le plateau de Valensole

C'est dans ce contexte particulier du plateau de Valensole, au cœur d'enjeux écologiques, agronomique et sociaux, que la démarche REGAIN est née. Le Parc naturel régional du Verdon et 3 autres partenaires – la Chambre d'agriculture des Alpes-de-Haute-Provence, la Société du canal de Provence, et la chaire d'entreprises AgroSYS – se sont rassemblés pour créer, en 2014, cette démarche visant à :

***Accompagner les agriculteur.trice.s du plateau de Valensole dans la transition agroécologique par le développement de pratiques performantes, résilientes et préservant l'environnement.***

Si l'objectif de départ était de les rassembler autour de la fertilité des sols, les actions se sont rapidement diversifiées vers l'accompagnement à la plantation de haies, les réflexions autour d'une irrigation résiliente des cultures, ainsi que la gestion de la fertilisation azotée en grande culture pour diminuer la dépendance aux intrants et réduire la pression de l'agriculture sur les eaux souterraines. Cette transition agroécologique des exploitations du plateau de Valensole passe donc par la recherche de systèmes innovants et durables, en partenariat avec les agriculteur.trice.s du territoire.

Aujourd'hui, les actions menées par les partenaires REGAIN se déclinent en plusieurs axes (Figure 10):

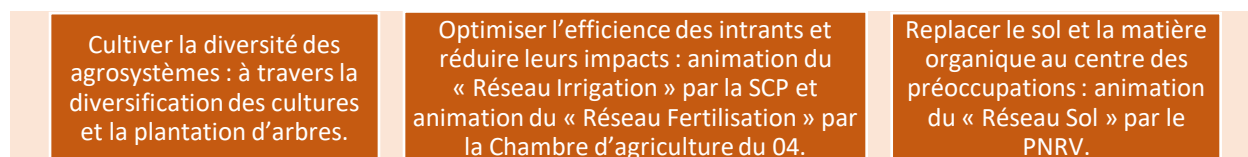


Figure 10 : Axes d'actions de la Démarche REGAIN. Source Fontanel.

#### 1.3.3.1. *Le Réseau Sol, un réseau de parcelles volontaires*

Le Réseau Sol rassemble, en 2021, 38 parcelles et modalités, appartenant à 29 exploitations agricoles, plantées en lavandin en 2017. Les parcelles suivies sont toutes différentes de par leurs caractéristiques pédologiques, environnementales et les pratiques agricoles qui y sont mises en place. En effet, aucune contrainte n'a été imposée aux agriculteur.trice.s puisque le souhait du projet est d'analyser les pratiques des exploitants, correspondant à leurs objectifs et à leurs contraintes. Ce réseau de parcelles comporte donc des pratiques très différentes : conventionnelles, biologiques, intensives, extensives, avec des couvertures végétale inter-rang ou non, des apports de matière organique...

- 17 parcelles avec une zone d'échantillonnage,

- 11 parcelles avec deux zones d'échantillonnage.

Six d'itinéraires techniques en lavandin des parcelles du Réseau Sol sont explicités en annexe 2.

Ce réseau de parcelles a fait l'objet de 2 stages de fin d'études d'ingénieurs agronomes en 2017 et 2019 sur les thématiques suivantes : caractérisation des parcelles du Réseau Sol ; évaluation de l'influence des types de sol et des pratiques agricoles sur leur fertilité et l'état sanitaire du lavandin (selon des indicateurs physiques, chimiques et biologiques) ; et définir quels systèmes offrent le meilleur compromis entre qualité des sols, productivité et durabilité. Pour ce faire, des analyses de sol, biologiques, chimiques et physiques ont été réalisées à deux reprises, et analysées statistiquement.

Tout d'abord, les sols des parcelles sont hétérogènes mais souvent caillouteux et peu profonds (Villeneuve, Kleiber, Salducci 2017). La majorité des sols sont limono-argilo-sableux, de pH eau homogène avec une moyenne de 8,4. Par ailleurs, la majorité des parcelles sont calcaires, voire très calcaires, ce qui peut perturber les échanges nutritionnels dans le sol. Plus particulièrement, les taux de calcaire actif dans les sols sont élevés (moyenne de 14 %) ce qui traduit une insolubilisation des éléments minéraux. De plus, les sols du Réseau Sol possèdent une MO totale variable mais relativement faible, comprise entre 1 et 3 %. Néanmoins, les parts de MO libre et liée sont satisfaisants sur les parcelles en général, hormis quelques-unes qui présentent de forts déficits en MO libre.

Par ailleurs, les analyses de (Chignier 2017) et (Delhal 2019) ont démontré que les parcelles sont hétérogènes en termes de qualité puisque les indicateurs comme le C/N, la CEC, l'abondance des nématodes ou encore la biomasse microbienne varient fortement d'une parcelle à l'autre. Ce sont principalement les pratiques agricoles qui expliqueraient ces variations. Plus particulièrement, les apports de matière organique et d'enherbement de l'inter-rang sembleraient améliorer la vie du sol. A l'inverse, le travail du sol intensif (labour et désherbage) et l'apport d'engrais minéraux perturberaient le milieu et feraient baisser les indicateurs biologiques. Il faut néanmoins faire attention puisque des pratiques sont souvent liées, à l'image du désherbage intensif qui est largement corrélé au non enherbement des inter-rangs.

Enfin, le dépérissement du lavandin qui touche de nombreuses exploitations sur le plateau de Valensole a été étudié lors des analyses de Chignier (2017) et Delhal (2019). En effet, ils ont montré que les rotations non diversifiées (blé – PAPAM) semblaient augmenter le taux de dépérissement des plants. Cependant des conclusions davantage abouties n'ont pas été possibles du fait de la complexité de l'échantillon de parcelles.

### 1.3.3.2. *Problématique du stage*

Le plateau de Valensole rassemble un grand nombre d'enjeux, à la fois environnementaux - pollution des eaux, de déclin de la biodiversité - et agronomiques, avec des pertes considérables de la qualité des sols agricoles. Il est donc impératif de reconquérir ces sols en comprenant leur fonctionnement, afin de les restaurer et pérenniser l'agriculture du territoire. Cette résilience agricole visée passe également par la compréhension de l'effet des pratiques agricoles sur les sols, les cultures, et l'environnement. Il est aussi important de transmettre ces informations au plus grand nombre, en prenant en compte les particularités de chaque exploitation.

Ce stage s'intègre à la démarche REGAIN et dans la continuité des deux précédentes analyses des parcelles du Réseau Sol. La problématique est **d'analyser et synthétiser, pour un public de lavandiculteurs et lavandicultrices, l'impact des pratiques agricoles sur la qualité des sols, l'état sanitaire des cultures et la rentabilité économique**. Il a donc été question de faire un état des lieux des connaissances actuelles, et d'analyser et synthétiser des données existantes, pour transmettre ces informations de manière pédagogique, aux agriculteurs et agricultrices du territoire.

L'hypothèse posée pour la nouvelle analyse statistique est la suivante :

**Des associations de pratiques agricoles favorisent le développement de la vie des sols, l'entretien des matières organiques, et l'état sanitaire des cultures.**

En complément de ce premier travail, la mise en place d'un nouvel outil de communication a été réalisé : le « test du slip ». Ce test a pour but d'observer l'activité biologique des sols des parcelles du Réseau et de fournir un support pédagogique pour débattre des questions d'agroécologie sur le plateau de Valensole. L'hypothèse suivante a alors été posée lors de l'analyse des résultats de ce test:

**Le type de sol et les pratiques agricoles jouent sur l'activité biologique des sols.**

Une demi-journée technique avec les agriculteurs et agricultrices partenaires a ensuite été réalisée, afin de leur présenter les résultats de ce test, le guide pédagogique à paraître et des tests à faire au champ pour comprendre le sol.

## 2. Matériel et Méthode

### 2.1. Organisation générale du stage pour répondre aux problématiques

Les paragraphes suivants explicitent les questionnements qui se sont posés au cours de ce stage ainsi que les choix et les missions qui en ont découlés.

#### 2.1.1. Grandes étapes de rédaction du guide

##### 2.1.1.1. *Identification du public visé et élaboration du plan détaillé*

Un des objectifs de ce stage de fin d'étude était de vulgariser un ensemble de données récoltées au sein du Réseau Sol, pour promouvoir des pratiques agroécologiques en culture de lavandin sur le plateau de Valensole. La rédaction du guide a donc posé plusieurs questions préalables : quel est le public cible ? Quels thèmes vont être abordés et à quel niveau de détails ? Comment rendre un écrit pédagogique et intéresser le public visé ? ...

Après avoir identifié le public cible du guide – les agriculteurs et agricultrices de la démarche REGAIN et plus généralement, du territoire – il a été nécessaire d'identifier les thèmes à aborder. Pour se faire, une période de bibliographie interne au PNRV et au projet REGAIN a été réalisée afin de se familiariser avec des différents résultats du projet. Il est rapidement apparu nécessaire de débiter le guide avec une première partie théorique sur le territoire et la qualité des sols. La seconde partie du guide porte sur l'impact des pratiques agricoles sur la fertilité des sols et l'état sanitaire des cultures, basé sur les résultats du Réseau Sol, et d'autres travaux du projet REGAIN. Pour ce faire, il a été nécessaire de re-analyser les résultats des campagnes d'analyses de 2017 et de 2019. En effet, les deux analyses réalisées par (Delhal 2019; Chignier 2017) étaient très complexes et difficiles à diffuser au public visé. Il a donc fallu retravailler ces données statistiquement pour pouvoir présenter des résultats simplifiés et compréhensibles pour tous. Cette démarche sera définie dans le paragraphe 2.2.

Enfin, la dernière partie du guide, présentée sous forme de fiches techniques, a pour but de présenter des tests simples réalisables directement au champ, pour mieux connaître ses sols. Ces tests ont été réalisés sur des parcelles du plateau de Valensole afin d'illustrer les fiches. Les résultats du « test du slip » réalisé en 2021 ont été rapidement présentés dans une des fiches.

##### 2.1.1.2. *Comment rendre le récit plus pédagogique ?*

Pour que la partie de contextualisation et de théorie du guide ne paraisse pas trop scolaire et qu'elle intéresse les lecteurs et les lectrices, il a été décidé qu'elle soit synthétique, contextualisée au plateau de Valensole, et illustrée de dessins techniques réalisés par un illustrateur.

Il a fallu, dans un premier temps, identifier les thèmes complexes à vulgariser. La contrainte majeure était le budget de 3 000 euros au départ (qui a évolué au cours du projet) qui a permis de commander 30 illustrations, dont 16 complexes, explicitant des thématiques techniques. Un cahier des charges et un devis ont été rédigés pour l'appel d'offre public déposé. Une fois l'illustrateur choisi, des modèles détaillés expliquant les illustrations souhaitées, lui ont été transmis. Un suivi et des échanges réguliers avec l'illustrateur ont été nécessaires pour mener à bien l'ensemble de la commande. Des exemples d'illustrations ont été présentés dans les parties du « 1. Fertilité des sols agricoles en culture pérennes ». Une liste des illustrations commandées se trouve en Annexe 3.

Aussi, des témoignages ont été inclus dans le guide afin de crédibiliser le discours et les résultats présentés. J'ai pu interviewer 5 agriculteurs et un pédologue spécialiste du plateau de Valensole. Cette mission sera rapidement détaillée dans le « 2.4. Des entretiens d'agriculteurs pour intégrer des témoignages dans le guide ».

### 2.1.1.3. Suivi et la gestion de projet

Plus généralement, une fois le plan détaillé du guide défini en interne, un comité de relecture composé de 6 spécialistes partenaires, l'a critiqué puis validé. Un certain suivi par plusieurs de ces spécialistes a eu lieu tout au long de la rédaction du guide, puis des relectures internes et externes ont été nécessaires avant la validation finale du guide et l'impression.

Tableau 1 : Budget alloué à la rédaction du guide. Source Fontanel.

Poste de dépense	Prix en euros TTC
Illustration	4540,16
Graphisme	3112,25
Impression (300 exemplaires)	1437
<b>Total</b>	<b>9089,41</b>

J'ai aussi participé à la concertation avec le graphiste en charge de la mise en page du guide, et la préparation des documents lui étant destinés.

Pour la création de ce guide, le budget était le suivant :

### 2.1.2. Missions parallèles : le test du slip, un outil pédagogique

Le test du slip a été utilisé en tant qu'outil pédagogique pour amener la discussion dans le groupe d'agriculteur.trice.s autour de l'agroécologie, de la santé des sols et de l'effet des pratiques agricoles en culture de lavandin. Le test du slip a été réalisé en 2021 sur l'ensemble des parcelles du Réseau Sol et quelques-unes en plus, pour tenter d'évaluer l'activité biologique des sols du plateau de Valensole. Les résultats ont été analysés, et une demi-journée de restitution a été organisée le 3 septembre, chez un agriculteur partenaire. Lors de cet événement, plusieurs spécialistes sont intervenus pour aborder des sujets autour des sols et de la résilience des pratiques. J'ai également pu présenter le guide pédagogique en cours d'édition.

### 2.1.3. Organisation temporelle du stage et des missions

Voici l'organisation suivie pour mener à bien les missions de ce stage :

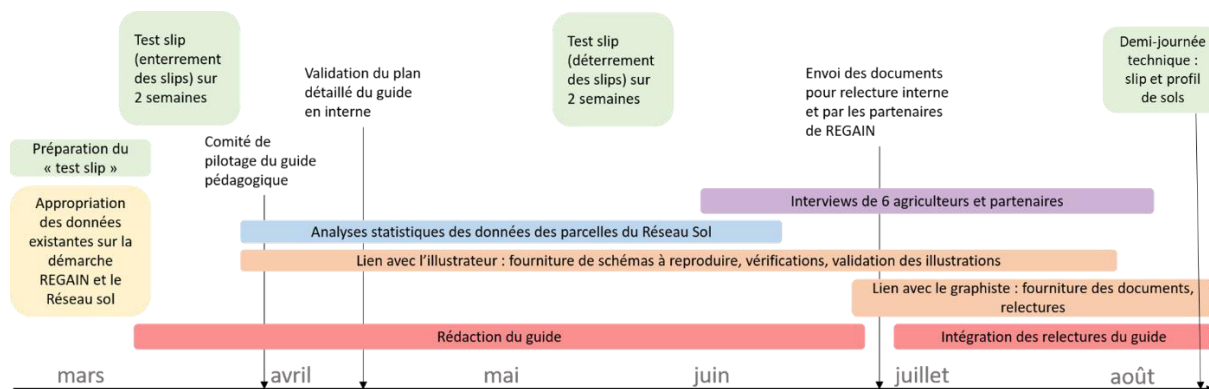


Figure 11 : Organisation temporelle du présent stage. Source Fontanel.

## 2.2. Une nouvelle analyse statistique des données du Réseau Sol nécessaire pour vulgariser les résultats

### 2.2.1. Comment ré-analyser les résultats du Réseau dans une optique pédagogique ?

Le projet REGAIN datant de 2014, un nombre important d'analyses a pu être réalisé sur le Réseau Sol et les autres Réseaux Fertilisation et Irrigation depuis cette date. Il a d'abord été question de sélectionner les résultats saillants répondants à la question : quels paramètres jouent sur la fertilité des sols ? Pour se faire, la présente étude s'est basée sur les résultats des 2 précédentes études sur le Réseau Sol et sur une bibliographie élargie (présentée dans la première partie de ce document).

Rappel de l'hypothèse : « *Des associations de pratiques agricoles favorisent le développement de la vie des sols, l'entretien des matières organiques et l'état sanitaire des cultures* ».

J'ai pu définir les 4 sous-hypothèses suivantes :

- H1 : La diversification de l'assolement et plus largement, les pratiques raisonnées employées en précédent le lavandin améliorent la fertilité des sols,
- H2 : La fertilisation organique favorise la vie du sol et améliore les stocks de matière organique,
- H3 : La couverture végétale protège le sol, favorise la vie du sol et diminue le dépérissement des plantes,
- H4 : Le non emploi d'intrants chimiques permet une efficacité économique correcte tout en améliorant la vie du sol.

Il a ensuite été nécessaire d'élaborer une méthodologie d'analyse des résultats des parcelles du Réseau Sol pour présenter des résultats à vulgariser.

La première étape a été de choisir des indicateurs de fertilité des sols sur lesquels ces hypothèses seront testées, et sur lesquels il était cohérent de communiquer auprès du public visé (connaissance du réseau). Les analyses de sol de 2017 et 2019 réalisées par 3 laboratoires, additionnées aux entretiens menés par les deux précédents stagiaires, ont permis d'établir une base de données très détaillées sur les caractéristiques physico-chimiques des parcelles du Réseau, sur la nématofaune du sol et les pratiques agricoles employées.

Ensuite, puisque les exploitations partenaires du projet sont volontaires, chaque parcelle du Réseau Sol est différente en termes de pratiques agricoles, de type de sol, d'objectifs et de contraintes. De ce fait, les conditions d'expérimentation ne sont pas contrôlées. De plus, certaines pratiques sont souvent liées, comme l'enherbement et le non – ou le moindre – travail du sol en inter-rang. Il n'est donc pas cohérent d'étudier chaque pratique agricole individuellement, mais plutôt d'étudier une combinaison de pratiques. Les parcelles ont donc été rassemblées selon des groupes de pratiques en fonction de la sous-hypothèse à étudier. Une fois les groupes élaborés, ils ont pu être comparés entre eux selon des indicateurs de qualité des sols et d'état sanitaire sélectionnés.

Le logiciel R Studio a été utilisé pour réaliser les analyses statistiques.

### 2.2.2. Les indicateurs choisis pour l'analyse

Tout d'abord, même si (Chignier 2017; Delhal 2019) ont montré que l'impact des types de sol sur les parcelles REGAIN était bien moins important que l'impact des pratiques agricoles, il a semblé important de conserver quelques indicateurs chimiques et physique dans l'analyse qui pourraient aider à expliquer certains résultats. Il a été décidé de conserver :

- La **CEC** puisqu'elle est un indicateur important pour comprendre les échanges au sein du sol, et de potentiels dysfonctionnements dans la nutrition des plantes. De plus, cet indicateur est bien connu des agriculteurs et agricultrices du Réseau.



- Le fractionnement des matières organiques – **MO totale, MO liée, MO libre** – est intimement lié au développement de la vie du sol et à la stabilisation de celui-ci. De plus, la matière organique libre semble être favorisée par un enherbement des inter-rangs des parcelles, et défavorisée par le désherbage mécanique des parcelles (Delhal 2019).
- Le rapport carbone sur azote – **C/N** – informe sur la biodégradabilité d'une substance, ou l'état biologique du sol en exprimant l'évolution de la matière organique (Pasquier s.d.). Ce ratio est intéressant pour analyser la part d'azote et de carbone qui va être rapidement disponible (Villenave, Kleiber, Salducci 2017). Si le C/N est inférieur à 15, les microorganismes minéralisent la MO, si le ratio est supérieur à 30, ils l'humifient (Pasquier s.d.).

En revanche, l'indicateur de texture n'a pas été retenu puisqu'il n'expliquait pas, selon les analyses statistiques de 2017 et 2019, la variabilité des indicateurs biologiques. La structure du sol ne sera pas non plus conservée, car le test bêche réalisé sur les parcelles n'est pas adapté au contexte du plateau de Valensole (sol très caillouteux) et les résultats ne sont pas fiables. Par ailleurs, la capacité de rétention en eau des sols n'a pas été mesurée, mais sera incluse dans l'indicateur de matières organiques liées qui participent à l'augmentation du potentiel de stockage d'un sol. Les pH des parcelles du Réseau sont homogènes, donc ce n'est pas un facteur discriminant. Enfin, la variabilité des indicateurs portants sur les bases échangeables d'un sol ne semblent pas, pour l'instant, être explicables par les pratiques agricoles mises en place sur le Réseau (Delhal 2019). Enfin, la teneur en carbone organique ne sera pas conservée mais sera appréciable dans les indicateurs de matières organiques et le rapport C/N.

Ensuite, plusieurs indicateurs biologiques ont été conservés pour l'analyse :

- **L'abondance des nématodes libres**, qui, selon Camille Chauvin (Laboratoire ELISOL environnement) est l'indicateur le plus simple et cohérent. En effet, il traduit la quantité de nématodes bénéfiques aux cultures – non phytophages – qui accomplissent un grand nombre d'action dans le sol. Il a aussi été intéressant de regarder les indices **SI**, **COMFOOT** et **EI** pour évaluer les variations de richesse et de diversité en nématodes des sols. De plus, ces 4 indicateurs sont sensibles aux modifications de pratiques agricoles et ont notamment été impactés par l'enherbement de l'inter-rang, et l'apport d'azote minéral.
- La **biomasse microbienne** est un indicateur simple, facilement explicable au public visé par le guide, qui est sensible aux variations de pratiques. De plus, les analyses de Delhal (2019) et Chignier (2017) ont montré que cet indicateur était largement impacté par les pratiques comme l'enherbement, le travail du sol, la fertilisation minérale et l'emploi de produits phytosanitaires.

Les indicateurs plus précis et donc plus complexes, comme les différents genres de nématodes phytoparasites, n'ont pas été conservés.

Des indicateurs économiques ont été calculés par Delhal en 2019 et ont été intégrés lors de la présente analyse :

- **Rendement de la parcelle** ;
- **Produit annuel de la parcelle** = *rendement x prix de vente* ;
- **Charges totales annuelles de la parcelle** inclut les frais de carburant, la main d'œuvre, le coût de plantation, les produits phytosanitaires, les fertilisants, le coût de distillation et éventuellement les frais d'irrigation. Les paramètres suivants n'ont pas été pris en compte : les charges d'exploitation, les amortissements du matériel et autres. Ceci qui limite l'analyse globale des différents systèmes de production ;
- **Marge directe parcelle** = *produit brut parcelle - charges totales annuelles parcelle* ;

- **Efficacité économique de la parcelle** =  $\frac{\text{marge directe parcelle}}{\text{produit annuel parcelle}}$  représente, selon Delhal (2019), un équivalent au rapport  $\frac{EBE}{\text{produit}}$  au niveau de la parcelle, qui exprime la rentabilité de la parcelle.

Aussi, des indicateurs du **dépérissement** des parcelles ont été calculés en 2019 par A. Delhal et ont été réutilisés pour la présente analyse. Pour chaque parcelle du Réseau Sol, l'état sanitaire des lavandins a été évalué selon trois classes : de « plant sain » à « plant mort ». Dans le présent rapport, uniquement le taux de plants en **classe 2-3-4** a été conservé, qui représente les plants douteux, ceux qui sont peu développés – à tiges courtes, avec des petites fleurs, et certaines tiges mortes – et les plants morts.

### 2.2.3. Le regroupement des parcelles par groupes de pratiques similaires

#### 2.2.3.1. *Pour évaluer l'effet de la diversification de l'assolement et des pratiques anciennes mises en place avant la plantation du lavandin (H1)*

Chignier (2017) avait discriminé les parcelles en 6 groupes – grâce à une ACM et une classification hiérarchique – les distinguant selon les pratiques suivantes : précédents culturaux, travail du sol, fertilisation et emploi de produits phytosanitaires. Ces pratiques ont eu un effet notable sur les indicateurs de fertilité des sols en 2017 comme le carbone organique et la biomasse microbienne.

Il a été choisi de conserver ces classes pour étudier l'effet des pratiques anciennes – avant plantation du lavandin – sur les indicateurs de fertilité des sols de 2017 pour tenter de répondre à l'hypothèse H1. Les variables utilisées et les classes associées sont détaillées en Annexe 4.

Par ailleurs, il était intéressant d'observer l'impact sur le « long terme » de ces pratiques anciennes, c'est-à-dire sur les indicateurs de fertilité de 2019. Cependant, il semble difficile d'évaluer l'impact sur une longue durée de la multitude de pratiques mises en place sur les exploitations agricoles du Réseau Sol, avec notamment des changements radicaux de cultures et donc de pratiques. En effet, l'analyse de Delhal en 2019 sur l'effet des pratiques anciennes sur les indicateurs de 2019 n'a pas été concluante et ne sera pas réalisée en 2021.

#### 2.2.3.2. *Pour observer l'effet des fertilisations du lavandin (H2)*

- L'apport ou non de matières organiques

Dans un premier temps, il était intéressant de regarder l'effet strict de l'apport ou non de matières organiques sur le sol. En effet, les apports réguliers de MO peuvent à la fois booster la vie du sol en leur offrant une nourriture facilement dégradable – MO libre – et améliorer la stabilité du sol et le stock de MO liée. Ainsi, Delhal avait montré en 2019 que cette variable souvent corrélée à de bons indicateurs chimiques et biologiques. Il a donc été décidé de discriminer les parcelles selon une seule variable (à 2 classes) : l'apport ou non de MO entre 2015 et 2019. Les apports organiques peuvent se faire sous forme d'engrais industriel, de compost, de boues ou de restitution de couvert. Le détail de cette variable est disponible en Annexe 4.

- Combinaison du type de fertilisation (organique ou minérale) et de l'herbe

Dans un second temps, l'effet de la combinaison entre fertilisation et enherbement de l'inter-rang a été étudié. En effet, Chignier et Delhal ont montré – respectivement en 2017 et 2019 – que la fertilisation azotée minérale avait un impact négatif sur la vie du sol et que l'enherbement jouait largement sur la variabilité des indicateurs de fertilité des sols. Les pratiques agricoles ont donc été rassemblées selon ces 2 variables ci-dessous:

Tableau 2 : variables et modalités choisies pour étudier l'effet de la combinaison de fertilisation et de l'herbe.

Variable	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4
Type de fertilisation depuis la plantation (2017)	Pas de fertilisation	Uniquement minérale	Uniquement organique	Mixte (organique + minérale)
Enherbement de l'inter-rang, au moins les premières années de plantation	Oui	Non		

Certaines classes ont été supprimées ou combinées. Il n'existe pas de parcelles non couverte et n'employant pas de fertilisation. Les parcelles employant une fertilisation uniquement organique en sol nu, celles étant couvertes et sans fertilisation, et celles recevant uniquement une fertilisation minérale en sol couvert, ont été groupés. Ce regroupement permet d'augmenter le nombre d'individus dans la classe et les autres pratiques agricoles de ce groupe ne sont pas extrêmes (classe maximale de binage par exemple).

- Types d'apports organiques (engrais, amendement)

Il a aussi été intéressant de regarder l'effet des types d'apports organiques. Ils peuvent être des engrais - ayant pour but de nourrir les plantes et la vie des sols directement - ou des amendements qui jouent davantage sur la structuration du sol et les stocks de MO stable (humus). Les parcelles ont donc été discriminées selon les 4 classes ci-dessous :

Tableau 3 : variables et modalités choisies pour étudier l'effet des apports organiques, engrais ou amendements.

Variable	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 3
Type d'apport organique depuis 2017	Pas d'apport d'engrais organique	Apports uniquement sous forme d'engrais organique industriel	Apport uniquement sous forme d'amendement* organique	Mixte (organique + minérale)

\*L'amendement peut être sous forme de compost, boues ou de restitution de couvert.

### 2.2.3.3. Pour étudier l'effet des techniques de gestion de l'inter-rang (H3)

- Travail du sol et herbe

La combinaison de l'utilisation d'intrants chimiques, de travail du sol et d'enherbement semble aussi intéressante pour expliquer des différences d'impact sur les sols. Selon Delhal et Chignier, ces pratiques influent sur les indicateurs de fertilité des sols. Elles sont cependant souvent liées entre elles car, par exemple, les parcelles où l'inter-rang est enherbé reçoivent un nombre de binages souvent inférieur aux parcelles très intensives, jamais enherbées. Les parcelles ont donc été discriminées selon ces 4 variables entre 2017 et 2019: apport d'engrais minéraux ou de produits phytosanitaires (oui/non) ; enherbement de l'inter-rang (minimum les 2 premières années de plantation ; oui/non) ; nombre de binage à plein (inférieur ou supérieur à 8). Détail des variables et classes en Annexe 4.

Il a fallu néanmoins combiner des classes pour augmenter leurs effectifs, tout en restant cohérent avec le jeu de données. C'est donc à dire d'experts que les parcelles étant en culture biologiques ont été isolées : pas d'emploi de produit phytosanitaire et de fertilisation minérale. Les autres pratiques sont hétérogènes dans ce groupe et les parcelles sont presque toutes enherbées. Pour les parcelles conduites en conventionnel, il a été décidé de séparer celles qui étaient enherbées avec des pratiques partiellement homogènes - presque toutes les parcelles ont reçu des apports de MO et sont peu à moyennement binées - de celles en sol nu. Pour les parcelles conventionnelles en sol nu, la quantité de binage a été distinguée entre moyennement intense et intense.

- Herbe et MO

Dans un second temps, l'effet de la combinaison de l'apport de matière organique et d'enherbement a été analysé. En effet, d'après une conversation avec Camille Chauvin du laboratoire ELISOL environnement, cette combinaison de pratiques semblait favoriser le développement des nématodes.

Les parcelles ont été groupées selon les apports de MO entre 2015 et 2019 (oui/non) et l'enherbement de l'inter-rang au minimum les 2 premières années de plantation (oui/non). Les apports organiques peuvent être sous forme d'engrais industriel, compost, boues ou restitution de couvert. Le détail des variables et classes est disponible en annexe 4.

#### 2.2.3.4. *Pour analyser l'effet des modes de culture avec et sans intrants, sur l'efficacité économique et la vie du sol*

On se demande souvent si les exploitations biologiques préservent réellement la biodiversité et si elles sont rentables. On a donc souhaité séparer les parcelles sans intrants chimiques des parcelles ayant un IFT (indice de fréquence de traitement) inférieur ou supérieur à 5. De plus, ces 3 modalités d'emploi de produit phytosanitaire correspondent à 3 types de conduites culturales : « biologique » (IFT = 0), « conventionnelle » ( $0 < \text{IFT} \leq 5$ ), et « conventionnelle intensive » ( $\text{IFT} > 5$ ). En effet, la quantité d'IFT est intimement liée à d'autres pratiques : l'apport d'engrais minéraux, le type de précédent cultural, l'apport ou non de matière organique, l'enherbement de l'inter-rang... Le détail de la discrimination est en annexe 4.

#### 2.2.4. La méthode d'analyse statistique

Une fois les indicateurs de fertilité des sols sélectionnés et les groupes de pratiques établis pour chacune des sous-hypothèses à étudier, l'analyse statistique a pu débuter. Attention, il ne faut pas perdre de vue la non robustesse des résultats puisque l'échantillonnage des parcelles n'a pas été fait dans les « règles de l'art scientifique ». C'est-à-dire que les modalités étudiées ne possèdent pas de cadre strict d'analyse, ni de répétitions.

Néanmoins, il est intéressant de regarder, par une analyse statistique, si les hypothèses sont confirmées ou non par les résultats des parcelles du Réseau Sol. Pour chacune des hypothèses, l'effet des groupes de pratiques sur chacun des indicateurs de fertilité des sols est observé :

- Dans un premier temps, visuellement à l'aide de boxplots simples,
- Puis confirmé ou infirmé statistiquement à l'aide des tests statistiques.

Des tests ANOVA (ANalyse Of VAriance) ont permis d'évaluer s'il existait une différence entre les groupes de pratiques (qualitatifs) sur les indicateurs de fertilité des sols (quantitatifs). Si les postulats sont vérifiés, des tests post-hoc – test de Tukey, ou HSD test – permettent d'évaluer la significativité des différences entre les modalités. Si les postulats ne sont pas vérifiés, un test non paramétrique a été réalisé – test de Kruskal-Wallis couplé à un test de Dunn – pour évaluer les différences.

### 2.3. La récolte de nouvelles données pour le Réseau Sol – le test du slip

Le test du slip a pour but d'évaluer l'activité biologique du sol. Ce test n'est pas normé, c'est-à-dire que les résultats ne sont pas exploitables scientifiquement. Mais il permet de faire une première comparaison de parcelles et de pratiques agricoles.

#### 2.3.1. Méthodologie du test slip

Le principe de ce test est d'enfouir un slip non teinté et en coton biologique, dans une parcelle et de le ressortir 2 à 3 mois plus tard pour observer sa dégradation. Il a été réalisé sur les parcelles du Réseau Sol entre mars et juin 2021 en suivant la méthodologie ci-dessous.

- Identifier l'endroit où ont été faits les anciens prélèvements sur les parcelles du Réseau Sol ; pour les nouvelles parcelles et choisir un endroit représentatif de celles-ci.
- Se placer en bordure de rang, proche d'un pied de lavandin et creuser un trou de 30 cm de profondeur, sur environ 60 cm de long et 40 cm de large.

- Déposer le slip vertical entre - 10 cm et - 30 cm, avec l'élastique à - 10 cm. Remettre la terre autour et dans le slip, en essayant de conserver l'ordre initial des horizons du sol. Identifier la zone avec un piquet pour retrouver le slip quelques mois plus tard.
- Enterrer un slip « témoin » sur une parcelle à forte activité biologique pour juger de l'état de dégradation et ne pas retirer tous les slips trop tard ou trop tôt. Fin mai, le slip témoin a été déterré et était largement dégradé. Il a été décidé de déterrer l'ensemble des slips début juin, au bout de 2 mois d'enfouissement.
- Déterrer les slips (délicatement) et retirer la terre en surplus pour arrêter la dégradation. Faire sécher le slip à l'air libre pour pouvoir le conserver.
- Nettoyer les slips finement une fois séchés et les peser à la balance à 0.01 gramme.

Au moment de l'enfouissement des slips, un ensemble de questions ont été posées directement aux agriculteurs et agricultrices, sur leurs pratiques culturales depuis 2019 (date des dernières données récoltées). Il était en effet nécessaire d'identifier les pratiques récentes mises en place sur les parcelles car la vie du sol est souvent sensible aux changements. Des précisions ont été demandées à propos des actions mécaniques sur les sols (nombre de binages), des apports de fertilisants minéraux et organiques (produit, doses, composition), des apports d'amendement (nature, quantité), des produits phytosanitaires utilisés, de l'irrigation (oui/non) et de l'enherbement (si oui, nature et temporalité).

Au total, 49 slips ont été enterrés, dont 38 sur les parcelles REGAIN et 11 en complément. Ces 11 slips supplémentaires ont été disposés dans des exploitations partenaires du projet, mais sur des modalités ou des parcelles différentes des parcelles REGAIN d'origine. Le choix des parcelles a été fait selon la motivation des agriculteurs. De ce fait, de nouvelles comparaisons d'apport de compost, de type de culture (oliviers, immortelles...) ou de type de sol ont été faites.

### 2.3.2. Méthode d'analyse

#### 2.3.2.1. *Première observation visuelle des slips comparables*

Tout d'abord, plusieurs slips ont été enterrés sur des exploitations ou des parcelles identiques, pour évaluer différentes modalités. Ces observations n'ont aucun poids statistique puisqu'il n'existe aucune répétition. Néanmoins, les résultats visuels peuvent montrer des tendances qu'il faudra approfondir lors des prochaines analyses. Les modalités observées et comparables sont au nombre de 11 et sont développées en Annexe 5 : expérimentation sur différents types de sol, précédent culturaux, culture d'olivier ou d'immortelles, et autres. Ce sont, soit des parcelles REGAIN avec plusieurs modalités, soit des nouvelles parcelles qui ne seront pas prises en compte dans l'analyse statistique globale (car pas de données).

L'observation de ces modalités a permis de viser des pratiques qui semblaient avoir un impact sur la dégradation des slips, qui pourrait être approfondies grâce à l'analyse statistique à venir.

#### 2.3.2.2. *Analyse statistique*

##### 2.3.2.2.1. Création de groupes de pratiques et choix d'indicateurs

Des indicateurs de fertilité du sol ont aussi été mis en relation avec la dégradation des slips afin d'observer ou non des corrélations entre plusieurs indicateurs. Attention, ces indicateurs datent des prélèvements de sol de 2019 et en 2 ans, ces indicateurs peuvent varier rapidement selon les pratiques et autres paramètres changeants. Les indicateurs suivants ont été observés : biomasse microbienne, MO totale, liée et libre, abondance de nématodes libres, CEC, carbone organique.

Les variables que l'on souhaitait étudier ont été définies à dire d'expert grâce aux observations visuelles préalables et d'une discussion avec Claire Marsden et Sophie Dragon-Darmuzey. En effet, les paramètres jouant sur l'humidité du sol vont impacter la vie du sol et donc la dégradation du slip

(Marsden 2021). De ce fait, le type de sol et sa couverture semblent avoir un fort impact sur la dégradation du slip (observation visuelle). Les taux de matières organiques dans le sol devraient eux aussi impacter la dégradation du slip puisque la MO liée du sol améliore la capacité de rétention en eau du sol (Marsden 2021 + observation visuelle). Les apports de MO sur le court et long terme, et l'apport de compost seront donc étudiés. Les précédents culturaux semblent aussi avoir un impact sur la dégradation des slips (observation visuelle) et la qualité des sols (Delhal 2019 ; Chignier 2017).

Voici les variables conservées pour l'étude statistique :

- Type de sol

Une variable du type de sol a été créée en utilisant les variables « argile », « sable », « pH » et « calcaire total ». Cependant, pour ne pas donner trop de poids au calcaire, les fractions d'argile et de sables décarbonatées ont été calculées comme suit :

$$argileT = \frac{argile}{argile+limons+sables} * 100 \text{ et } sablesT = \frac{sable}{argile+limon+sable} * 100$$

Une ACP (Analyse en Composantes Principales) a permis d'observer la dispersion des parcelles selon ces caractéristiques. Puisque la variabilité de pH des parcelles est très faible (minimum à 7,97 et maximum à 8,59), cette variable a été retirée du jeu de données. Puis une classification hiérarchique – HCPC – a permis de classer les sols en fonction des 3 variables sélectionnées.

- Couverture du sol

L'enherbement inter-rang possède de nombreux avantages, mais il peut assécher le sol (observation de terrain 2021). En effet, la présence d'un couvert végétal permanent prélève et intercepte une part non négligeable de l'eau qui arrive sur le sol, qui n'est donc pas disponible pour les organismes du sol. De ce fait, la variable d'enherbement inter-rang ci-dessous a été élaborée :

Tableau 4 : variables et modalités choisies pour étudier l'effet de la couverture du sol sur la dégradation des slips.

Variable	Classe 1	Classe 2	Classe 3
Enherbement	Jamais enherbé	Enherbé les 2 premières années de culture (2016-2019)	Enherbé depuis la plantation à aujourd'hui (2016-2021)

La distinction entre les enherbements spontanés ou semés n'est pas réalisée puisque le nombre de parcelles est trop réduit.

- Les apports de MO

Les apports récents boostent la vie du sol qui va dégrader le slip. Les apports anciens améliorent la qualité du sol, donc de l'habitat de ces organismes. Il est donc intéressant de regarder les apports de MO sur le long terme, et les apports plus récents, de compost notamment. Les parcelles ont été classées selon les modalités (ci-dessous) :

Tableau 5 : variables et modalités choisies pour étudier l'effet des apports de MO sur la dégradation des slips.

Variable	Classe 1	Classe 2	Classe 3
Apport de MO* entre 2016 et 2021	Pas d'apports	Apports < 100 kg/ha	Apports > 1000 kg/ha
Apport de compost entre 2019 et 2021	Pas d'apports	Au minimum un apport	

\*La MO peut être sous forme d'engrais industriel, de compost, de boues, de restitution de couvert

- Autres variables

Les précédents culturaux, le nombre de binage à plein et l'irrigation ont aussi été observés. Puisque ces pratiques ont peu évolué entre 2019 et 2021, les classifications des parcelles de Delhal (2019) et Chignier (2007) pour ces variables ont été conservées.

#### 2.3.2.2.2. [La méthode d'analyse statistique](#)

Cette analyse a été descriptive, pour tenter d'identifier des effets entre le type de sol, sa composition ou les pratiques agricoles sur la dégradation des slips. L'effet des variables a été observé de manière visuelle grâce à des représentations graphiques simples, puis statistiquement, en suivant la même méthodologie décrite en 2.2.4.

## 2.4. Des entretiens d'agriculteurs pour intégrer des témoignages dans le guide

Pour appuyer certaines thématiques du guide pédagogique, il a été souhaité d'intégrer des petits témoignages d'agriculteurs et agricultrices, ainsi que de spécialistes.

Les thèmes du guide à illustrer de témoignage ont été identifiés, principalement pour étayer la partie résultats qui présente l'impact de certaines pratiques agricoles sur la fertilité des sols :

- L'érosion des sols : Jean-Claude Lacassin, pédologue spécialiste à la Société du Canal de Provence, intervenant régulièrement lors d'évènements techniques sur les sols et l'agriculture du plateau,
- La diversification des rotations : Laurent Berne, agriculteur qui met en place une agriculture raisonnée, et diversifie au maximum ses rotations et ateliers,
- Les couverts végétaux inter-rangs permanents et spontanés : Laurent Bouvin, agriculteur qui enherbe ses inter-rangs de lavandin depuis plus de 20 ans, qui est en agriculture biologique sans intrants,
- Les couverts végétaux inter-rangs semés et temporaires : Jacky Piatty, agriculteur pionnier en terme d'enherbement semé des lavandins sur le plateau de Valensole,
- La fertilisation organique et minérale : Sylvain Paul, agriculteur qui a testé à la fois la fertilisation organique et la fertilisation minérale,
- L'apport de compost : Sylvain Aubry, agriculteur qui fabrique son propre compost et l'apporte du compost sur ses parcelles depuis plusieurs années.

Les entretiens ont eu lieu au téléphone ou en présentiel.

### 3. Résultats

#### 3.1. Analyse statistique des effets des pratiques sur les indicateurs de fertilité

Dans cette partie, les graphiques sont ceux également affichés dans le guide pédagogique, de ce fait, la significativité des résultats est représentée uniquement par des couleurs. En effet, des boxplot avec 2 couleurs différentes sont significativement différents. Des boxplots avec 2 couleurs ne sont pas différents des autres portant les mêmes couleurs. Par ailleurs, la totalité des analyses réalisées ne seront pas détaillées dans cette partie, les graphiques correspondants seront présentés en annexes (6 à 12). Les parties suivantes se focaliseront effectivement sur les résultats les plus probants de cette étude.

##### 3.1.1. Effet de la diversification de l'assolement et des pratiques anciennes sur les indicateurs de fertilité des sols

La classification des parcelles selon les pratiques agricoles sélectionnées correspond aux groupes suivants :

Tableau 6 : Groupes de pratiques anciennes mises en place sur les parcelles du Réseau Sol. Selon données de Chignier (2017).

Nom des groupes	Principales caractéristiques des groupes de pratiques anciennes entre 2012 et 2017	Nb de parcelles dans le groupe
Rotation blé/lavandin intensif G1	Pratiques intensives conventionnelles avec un IFT majoritairement compris entre 8 et 13 ; rotation à dominance céréales ; pas d'apports de MO ; entre 5 et 6 labours sur 5 ans.	8
Rotation blé/lavandin moyennement intensif G2	Pratiques conventionnelles modérées et diversifiées : de 0 à 6 labours, la majorité n'apporte pas de MO mais 3 parcelles en ont reçu plus de 1000 kg/ha, la majorité ont un IFT < à 10 sur 5 ans. Pas de désherbage mécanique sur lavandin ; rotation à dominante céréales.	8
Rotation diversifiée avec des protéo-oléagineux G3	Rotation diversifiée avec des protéo-oléagineux. Pas de désherbage mécanique sur lavandin ; IFT > 10 ; beaucoup ont apporté plus de 1000 kg/ha de MO et ont fait entre 5 et 6 labours.	5
Monoculture de PPAM intensive G4	Monoculture de plantes à parfums pendant les 5 années précédant la plantation de lavandin. Entre 2 et 4 labours ; 2/3 des parcelles n'ont pas apporté de MO ; 2/3 des parcelles ont un IFT > 10.	3
Bio avec désherbage mécanique (sur lavandin) G5	Non utilisation de produits phytos ; apports MO ; précédent cultural contenant au moins 1 espèce fourragère ; labours < 4, binages.	3
Bio sans désherbage mécanique (sur lavandin) G6	Non utilisation de produits phytos ; apports MO ; précédent cultural contenant au moins 1 espèce fourragère ; labours < 4, pas de binage les 3 premiers mois de plantation.	4

L'analyse des groupes créés sur les indicateurs de fertilité des sols montre que certains indicateurs sont impactés par les pratiques anciennes. En effet, la biomasse microbienne est significativement plus importante (presque le double) pour le groupe de parcelles biologiques sans travail du sol que celui de « rotation blé/lavandin intensif » (Figure 12Figure 1, p-value = 0.05). La même tendance est observable pour l'abondance totale de nématodes libres (Annexe 6) mais la différence entre les deux groupes n'est pas significative.

Les indicateurs chimiques suivent eux aussi la même tendance, puisque la CEC semble être plus importante sur les parcelles biologiques sans désherbage mécanique que les autres (ns). Par ailleurs, les proportions de MO libre et liée sont convenables puisque la référence, selon le laboratoire Celestalab est d'environ 20 % et 80 % respectivement pour les grandes cultures. En outre, les parcelles conduites en bio sans travail du sol et celles ayant reçu une rotation blé/lavandin moyennement intensive possèdent les meilleurs taux de MO totale, qui sont significativement supérieurs au taux de MO totale des parcelles conduites en culture intensive (annexe 6, p-value = 0.1). Cette augmentation de MO concerne à la fois la MO liée et la MO libre, c'est-à-dire qu'il n'y a pas de déséquilibre entre les



deux fractions de MO du sol. Au contraire, les parcelles ayant eu une rotation blé/lavandin intensive possèdent une quantité de MO totale critique – inférieure à 1,8 % – et plus particulièrement de MO liée (Annexe 6). Cela signifie que le stock d’humus est déficitaire sur ces parcelles. De même, la MO libre étant la nourriture préférentielle de la biomasse microbienne, les parcelles ayant un déficit de MO libre possèdent peu de vie du sol (rotation blé/lavandin intensif).

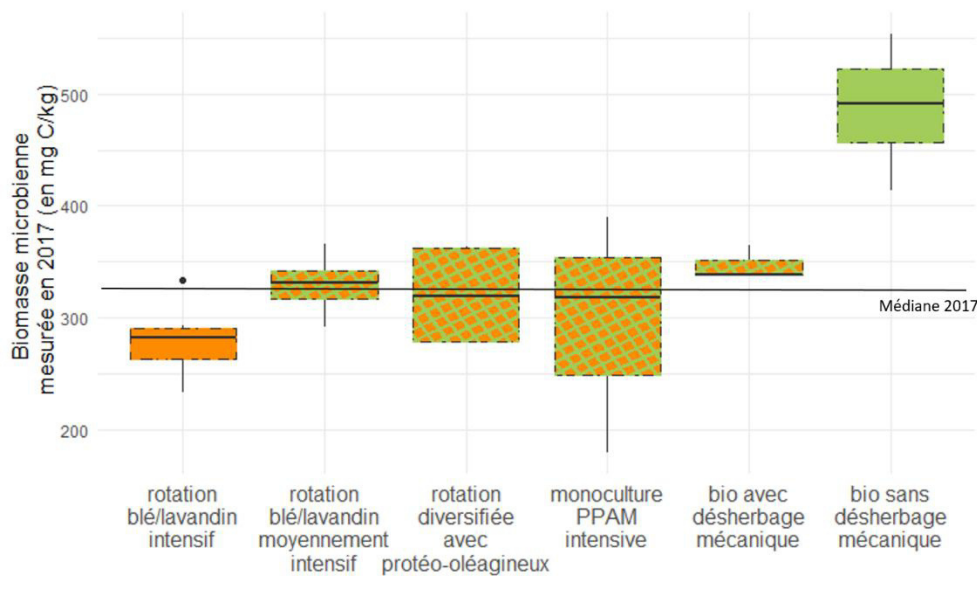


Figure 12 : Biomasse microbienne en fonction des 6 classes de pratiques agricoles mises en place entre 2012 et 2017 sur les parcelles du Réseau Sol. Source Fontanel. Uniquement le premier boxplot est différent, significativement, du dernier. Les boxplots verts et oranges ne sont pas significativement différents des boxplots unis verts ou oranges.

Selon certains travaux, le dépérissement lié au phytoplasme du Stolbur peut être accru sur des monocultures de lavandin puisque les larves de l’insecte vecteur passent une partie de leur cycle dans le sol. Ainsi, il est intéressant de regarder le taux de dépérissement en 2017 selon les groupes de pratiques anciennes. Cette analyse montre que le dépérissement est faible en 2017 pour l’ensemble des parcelles, avec une moyenne à 4 % (Annexe 6). En effet, la maladie du dépérissement met quelques années à s’implanter et à s’observer sur les plantations, mais elle touche principalement les plants jeunes qui sont sensibles aux attaques de cicadelle. De ce fait, il semble intéressant de regarder l’effet des pratiques anciennes sur un pas de temps plus long. Mais le dépérissement des plants en 2019 reste lui aussi faible pour les classes étudiées (Annexe 6). Cependant, il n’est pas aberrant de faire l’hypothèse que la culture biologique permet d’avoir des résultats similaires aux conventionnels, puisqu’il n’existe pas de différence entre les groupes.

➔ **Il est difficile de conclure sur l’effet des pratiques précédant la plantation du lavandin. Néanmoins, cette analyse montre que les systèmes biologiques semblent être les plus performants en termes de fertilité biologique des sols.**

### 3.1.2. Effet des types de fertilisation sur les indicateurs

#### 3.1.2.1. Apport ou non de matières organiques

Tableau 7 : Groupes de parcelles selon les apports ou non de MO entre 2012 et 2019.

Apports de MO depuis la plantation ?	Caractéristiques des groupes de pratiques	Nb de parcelles dans le groupe
Non	Les parcelles n’ont pas reçu de fertilisation organique depuis la plantation.	16
Oui	Les parcelles ont reçu au moins une fois une fertilisation organique depuis la plantation, sous forme d’engrais industriel, de compost, de boues ou de restitution de couvert.	14

Les parcelles n'ayant pas reçu de la matière organique depuis la plantation possèdent des taux de MO totale (Annexe 7) et de MO liée (Figure 13) inférieurs aux parcelles ayant reçu de la matière organique ( $p$ -value = 0.05). En effet, les apports de matière organique, parfois sous forme d'amendement organique, permettent d'augmenter le stock de MO stable – liée – du sol en améliorant ainsi sa structure et sa durabilité. De plus, la biomasse microbienne (Figure 13) est favorisée par les apports de matière organique ( $p$ -value = 0.05) qui ont donc un effet positif sur le développement de la vie du sol et va permettre de l'enrichir et de l'améliorer sur le long terme. Néanmoins, les taux de MO libre (Annexe 7) mesurés ne sont pas différents entre les parcelles fertilisées organiquement ou non (ns). Cette observation est quelque peu étonnante puisque la MO libre sert en partie de nourriture à la biomasse microbienne. On s'attendrait donc à observer, sur les parcelles ayant la plus grande quantité de biomasse microbienne, une forte quantité de MO libre. Une hypothèse possible à cette observation est que les apports inclus dans cette variable « apport de MO » sont divers, et non réguliers. De plus, les matières organiques labiles évoluent rapidement dans les sols, contrairement aux MO stables. Or les mesures de fractionnement de MO ont été réalisées en 2019, alors que les matières labiles des apports anciens ont déjà pu disparaître.

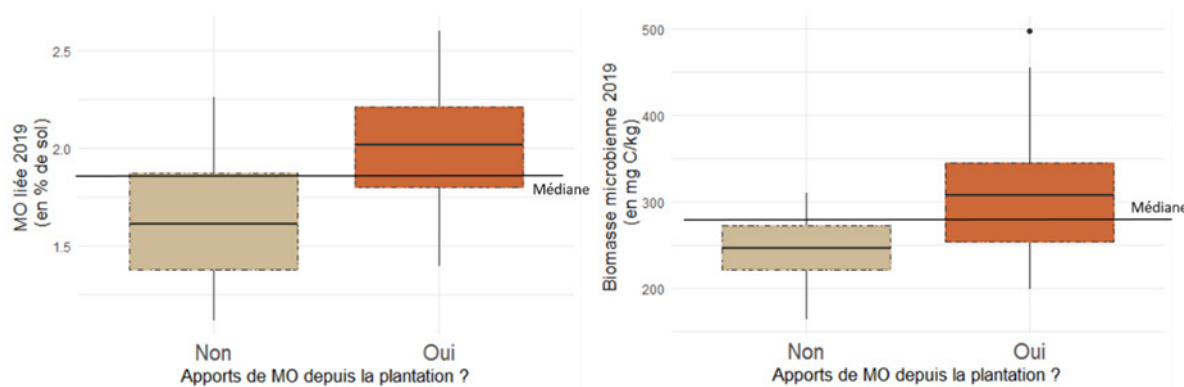


Figure 13 : MO liée et biomasse microbienne mesurées en 2019 selon la variable "apports de MO". Source Fontanel.

### 3.1.2.2. Combinaison du type de fertilisation (organique ou minérale) et de l'herbe

Tableau 8 : Groupes de parcelles selon les types de fertilisation (organique, minérale ou mixte) et la couverture, du sol depuis la plantation.

Type de fertilisation	Caractéristiques des groupes de pratiques	Nb de parcelles dans le groupe
Ferti min – sol nu	Fertilisation uniquement minérale, le sol est nu.	9
Ferti orga + min – sol nu	Fertilisation mixte (organique et minérale), le sol est nu.	19
Ferti min + parfois orga – sol couvert	Fertilisation minérale, avec parfois de la fertilisation organique en plus. Le sol a été couvert au minimum les premières années de culture du lavandin.	5
Bio : ferti orga et/ou sol couvert	Les parcelles n'ont reçu aucune fertilisation minérale, le sol a été couvert et/ou la fertilisation a été organique.	6

Les parcelles bio (sans phytos, pas de fertilisation minérale, souvent enherbées) permettent davantage à la biomasse microbienne de se développer par rapport aux parcelles ayant reçu uniquement de la fertilisation minérale et où le sol est nu (Figure 14,  $p$ -value = 0.05). Les nématodes libres sont eux aussi favorisés dans les parcelles bios par rapport aux parcelles fertilisées à l'engrais minéral (+ sol nu) et celles où la fertilisation est mixte et le sol est nu (Annexe 7,  $p$ -value = 0.1). Cette même observation peut être faite pour l'indice COMFOOT où les sols couverts permettent la plus grande activité biologique de la population de nématodes (Annexe 7). La couverture du sol semble donc largement favoriser la présence de nématodes en leur offrant un habitat protégé.

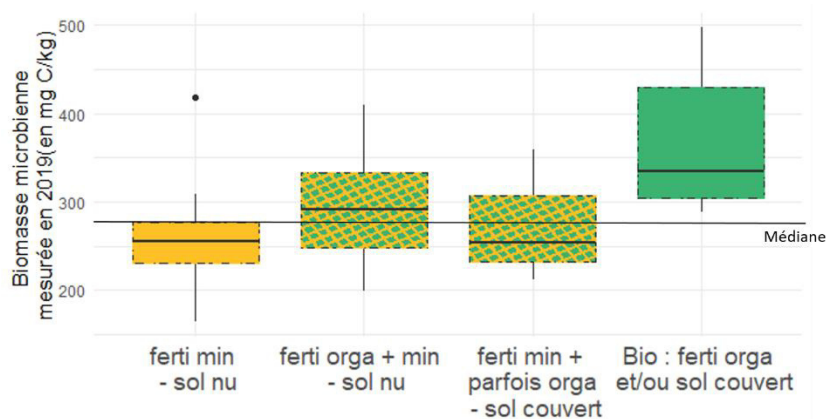


Figure 14 : Biomasse microbienne mesurée en 2019 selon les types de fertilisation depuis 2017. Source Fontanel.

Aucune différence significative n’a été observée sur les indicateurs chimiques entre les différents groupes de pratiques (Annexe 7). On s’attendrait à voir un taux de MO liée supérieur dans les groupes enherbés ou fertilisés organiquement par rapport aux autres mais cette observation n’est pas prouvée statistiquement. Une hypothèse probable concerne la qualité des matières organiques présentes. En effet, aucune information sur les ISMO, ou autres caractéristiques des apports de MO, n’est prise en compte dans cette analyse. Or, selon le type de matières organiques apportées, la dégradation et la persistance des matières peuvent être totalement différentes. En effet, certaines matières sont rapidement dégradables et minéralisables par les organismes du sol, et ne rejoignent donc pas le stock de matières liées, alors que d’autres comme composés très compostés ou issus de résineux le sont beaucoup moins, et donc moins accessibles à la vie du sol. De plus, l’amélioration des stocks de MO durable se fait grâce à des apports conséquents, réguliers et sur le long terme. De ce fait, les apports relativement récents de MO faites sur les parcelles REGAIN ne se traduisent pas, ou pas encore, par des taux de MO totaux conséquents (discussion avec Sophie Dragon-Darmuzey). De ce fait, il est intéressant d’observer plus particulièrement l’impact des différentes matières organiques. Dans la partie suivante, l’effet des apports d’engrais et d’amendements organiques sur les indicateurs de fertilité des sols est étudié.

### 3.1.2.3. Types d’apports organiques (engrais, amendement)

Tableau 9 : Groupes de parcelles selon la fertilisation (engrais ou amendement) organique depuis la plantation.

Amendement ou engrais organique ?	Caractéristiques des groupes de parcelles	Nb de parcelles dans le groupe
Pas d’apport orga	Les parcelles n’ont pas reçu de fertilisation organique depuis la plantation.	9
Engrais orga	Les parcelles ont reçu au moins une fois de la fertilisation organique depuis la plantation, uniquement sous forme d’engrais industriel.	12
Amendement orga	Les parcelles ont reçu au moins une fois de la fertilisation organique depuis la plantation, uniquement sous forme d’amendement (de compost, boues ou de restitution de couvert).	8
Engrais + amendement orga	Les parcelles ont reçu de l’amendement (de compost, boues ou de restitution de couvert) et de l’engrais organique au moins une fois depuis la plantation.	10

La combinaison d’engrais et d’amendement organique apparaît comme étant le type de fertilisation la plus bénéfique à la vie du sol. En effet, l’apport d’engrais a pour but de nourrir directement les plantes et les organismes du sol tandis que les amendements organiques apportent de la MO qui va se stabiliser dans le sol, améliorant sa structure et donc l’habitat de la vie du sol. Un apport mixte permet donc le développement d’une biomasse microbienne (Figure 15) et des nématodes libres (Annexe 8) supérieurs à l’apport d’engrais uniquement, et à l’absence d’apport de MO (p-value = 0.05).

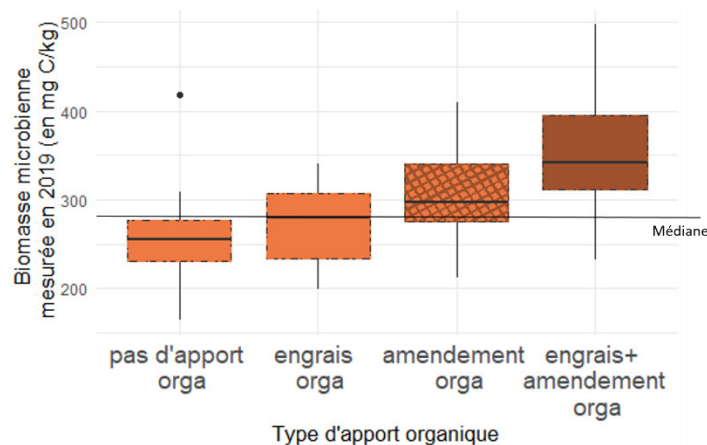


Figure 15 : Biomasse microbienne mesurée en 2019 selon le type de fertilisation organique. Source Fontanel.

Une combinaison d’apports d’engrais et amendements organiques semble donc idéale pour stimuler l’activité microbienne, la croissance des plantes et améliorer la fertilité du sol sur le long terme. Aucun effet significatif n’a pu être observé sur les matières organiques des sols du Réseau (Annexe 8). Néanmoins, il ne faut pas oublier que l’analyse n’a pas porté sur la quantité de MO épandue, alors que celle-ci semble jouer un rôle important, au-delà du type de produit apporté.

→ **La fertilisation de la culture de lavandin est encore peu étudiée – faim d’azote, ... – mais les apports organiques semblent importants dans le contexte de perte de fertilité des sols du plateau. De plus, un apport mixte d’engrais et d’amendement organique pourrait permettre d’améliorer la résilience des systèmes.**

### 3.1.3. Effet des techniques de gestion de l’inter-rang

Les techniques de gestion de l’inter-rang des parcelles du Réseau sol sont très différentes. Il a été décidé de regarder l’effet du travail du sol et de l’enherbement d’une part, et de l’enherbement couplé à une fertilisation organique d’autre part.

#### 3.1.3.1. Travail du sol et herbe

Tableau 10 : Groupes de parcelles selon la conduite conventionnelle ou biologique, le travail du sol et la couverture de l’inter-rang. Source Fontanel.

Nom des groupes	Caractéristiques des groupes de pratiques	Nb de parcelles dans le groupe
Bio	Les parcelles conduites en bio avec selon les exploitations : - de 0 à plus de 8 binages à plein entre 2017 et 2019 - 5 parcelles sur 7 sont enherbées*	7
Conv – herbe	Les parcelles sont enherbées* et conduites en conventionnel, le binage à plein est raisonné (moins de 8 binages entre 2017 et 2019).	7
Conv – sol nu – W sol moy	Les parcelles ne sont pas enherbées et sont conduites en conventionnel, le binage à plein est raisonné (moins de 8 binages entre 2017 et 2019).	15
Conv – sol nu – bcp W sol	Les parcelles ne sont pas enherbées et sont conduites en conventionnel, le binage à plein est intense (plus de 8 binages entre 2017 et 2019).	10

\* « enherbé » signifie ici que la parcelle a bénéficié d’au moins un couvert durant les deux premières années de plantation, qu’il soit temporaire ou permanent, semé ou spontané.

Cette nouvelle classification confirme l’observation précédente (partie 3.1.2) où l’implantation d’un couvert (en conventionnel ou en bio) est favorable à la présence de nématodes libres (Figure 16) et à leur activité – indice COMFOOT (Annexe 10) – qui sont très sensibles aux changements de pratiques agricoles (p-value = 0.05). La même analyse a montré que la biomasse microbienne était nettement

favorisée lorsque la conduite de la culture était sans produits phytosanitaires ni fertilisation minérale, et souvent en sol enherbé (Annexe 10, p-value = 0.05).

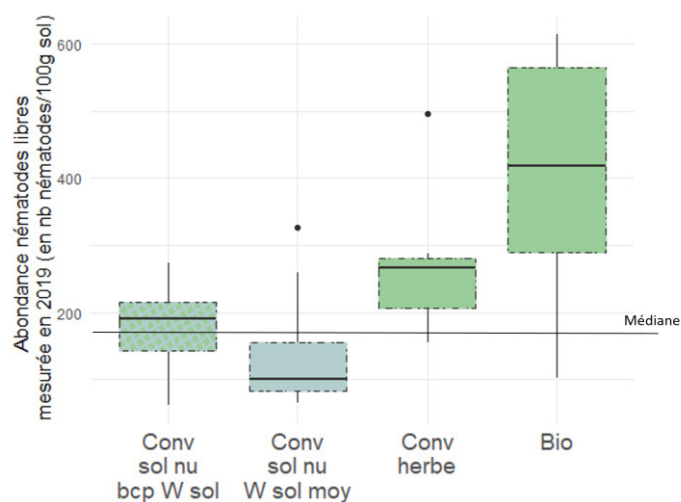


Figure 16 : Abondance de nématodes libres mesurée en 2019 selon la gestion de l'inter-rang (herbe, conduite, travail du sol). Source Fontanel.

Par ailleurs, le taux de MO libre semble être le moins important dans le groupe conventionnel avec beaucoup de travail du sol (Annexe 10, ns). En effet, le travail du sol intensif favorise une minéralisation rapide des matières organiques, qui ne sont plus libres et disponibles facilement pour les plantes.

### 3.1.3.2. Herbe et apports de matière organique

Tableau 11 : Groupes de parcelles selon l'enherbement inter-rang et les apports de MO. Source Fontanel.

Nom des groupes	Caractéristiques des groupes de pratiques	Nb de parcelles dans le groupe
Enherb+MO	Les parcelles ont reçu de la MO entre 2017 et 2019 et ont été enherbées les premières années de plantation.	7
Enherb	Les parcelles ont été enherbées les premières années de plantation.	5
MO	Les parcelles ont reçu de la MO entre 2017 et 2019 (pas d'enherbement)	17
Sol nu	Les parcelles n'ont pas été enherbées et n'ont pas reçu de MO	9

Les nématodes libres sont favorisés par la combinaison d'un enherbement et de l'apport de matières organiques (Figure 17, p-value = 0.05). Ils sont largement supérieurs dans ce groupe plutôt que dans les parcelles étant en sol nu (MO et Sol nu), et leur activité est elle aussi favorisée (indice COMFOOT en Annexe 11, p-value = 0.05). Les mêmes résultats sont observables pour la biomasse microbienne mais ne sont pas significatifs (Annexe 11, ns). De ce fait, l'enherbement, couplé à une fertilisation organique semble permettre à la vie du sol de se développer, en lui offrant à la fois de la nourriture rapidement accessible – la MO apportée – et une amélioration du milieu sol par l'herbe et une partie de la MO apportée.

Le dépérissement semble être plus présent sur les parcelles qui ont reçu de la matière organique (Annexe 11, p-value = 0.05) en comparaison des autres groupes de pratique. Cette même tendance est observable pour la MO libre (ns) qui pourrait expliquer le taux plus élevé de dépérissement sur ces parcelles. Un taux important de MO libre serait donc potentiellement favorable à un bon état sanitaire des parcelles.

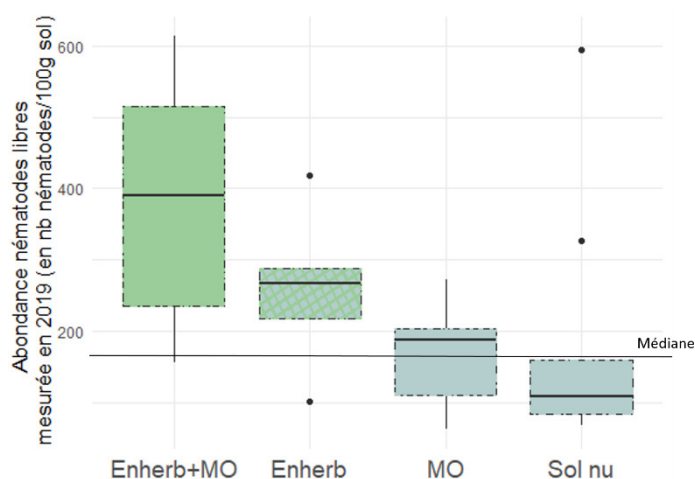


Figure 17 : Abondance de nématodes libres mesurés en 2019 selon l'enherbement et les apports de MO. Source Fontanel.

→ L'enherbement de l'inter-rang des parcelles de lavandin semble être une bonne alternative aux enjeux du territoire, mais son application reste complexe pour des raisons de concurrence notamment. Coupler cette pratique avec un faible travail du sol et des apports de matières organiques est une piste intéressante.

### 3.1.4. Effet des cultures avec et sans intrants sur les indicateurs économiques et de fertilité

Tableau 12 : Groupes de parcelles selon la conduite (IFT). Source Fontanel.

Nom des groupes	Caractéristiques des groupes de pratiques	Nb de parcelles dans le groupe
Bio	<ul style="list-style-type: none"> <li>• IFT et fertilisation minérale nulle.</li> <li>• Rotation précédente contenant au moins une culture fourragère.</li> <li>• Hétérogénéité du groupe sur le reste des pratiques : apports ou non de MO, 5/7 parcelles font moins de 4 binages à plein entre 2017 et 2019, 5/7 parcelles enherbées les premières années de plantation.</li> </ul>	7
Non Bio, IFT < 5	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Parcelles conventionnelles avec un IFT &lt; 5.</li> <li>• La majorité des parcelles n'ont pas reçu de MO ou en ont reçues moins de 1000 kg/ha depuis 2016.</li> <li>• Hétérogénéité du groupe sur le reste des pratiques : de 0 à plus de 8 binages à plein entre 2017 et 2019, de 0 à plus de 50 uN/ha entre 2017 et 2019.</li> <li>• Seulement 2 parcelles ont été enherbées.</li> </ul>	15
Non Bio, IFT > 5	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Parcelles conventionnelles avec IFT &gt; 5, souvent binées à plein plus de 4 fois entre 2017 et 2019.</li> <li>• Généralement, fertilisation mixte (minérale et organique).</li> <li>• 5/17 parcelles ont été enherbées.</li> </ul>	17

Les parcelles conduites en bio génèrent un rendement (Annexe 12), et donc un produit (Figure 18), inférieur aux parcelles conventionnelles, diminué de plus de la moitié (p-value = 0.05). Les charges totales à la parcelle sont, elles aussi, bien inférieures pour les parcelles biologiques (pas de fertilisant minéral ni de produits phytos) que pour les parcelles conventionnelles, avec une diminution de 50 % de charges (Figure 18, p-value = 0.05). En effet, plus l'IFT est élevé, plus les charges sont grandes, plus le rendement est important et plus la marge directe l'est également (Figure 19, p-value = 0.05). Cette marge est presque 3 fois supérieure pour les parcelles conventionnelles intensives, par rapport au biologiques. On peut donc penser que le prix de vente en agriculture biologique ne valorise pas suffisamment la production pour obtenir une marge équivalente au système conventionnel.

Mais il ne faut pas oublier que les frais d'exploitation et de matériel ne sont pas pris en compte dans le calcul de la marge directe. Or les exploitations agricoles du groupe « Bio » n'ont pas forcément les mêmes investissements matériels et sont souvent diversifiées, ce qui permet de lisser la marge totale générée par l'exploitation. Il serait donc plus cohérent d'étudier le volet économique sur l'ensemble des exploitations, et non uniquement à la parcelle.

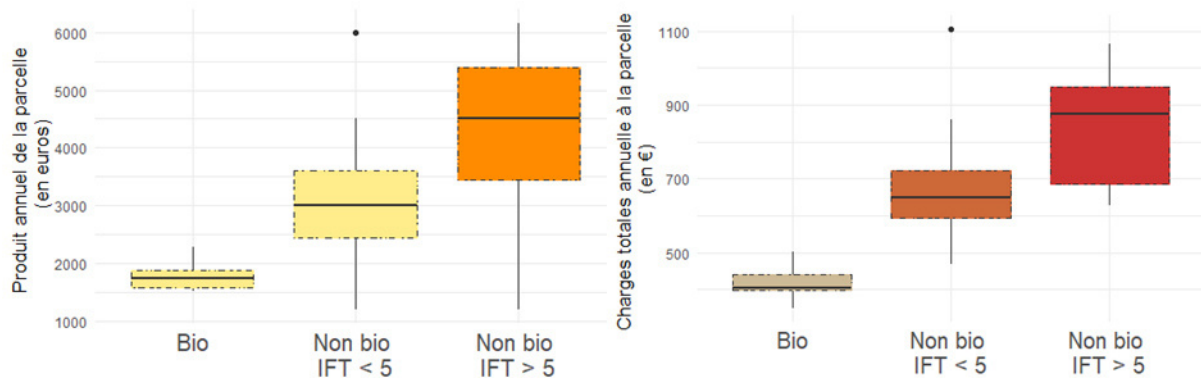


Figure 18 : Produit annuel et charges totales annuelles à la parcelle selon la conduite. Source Fontanel.

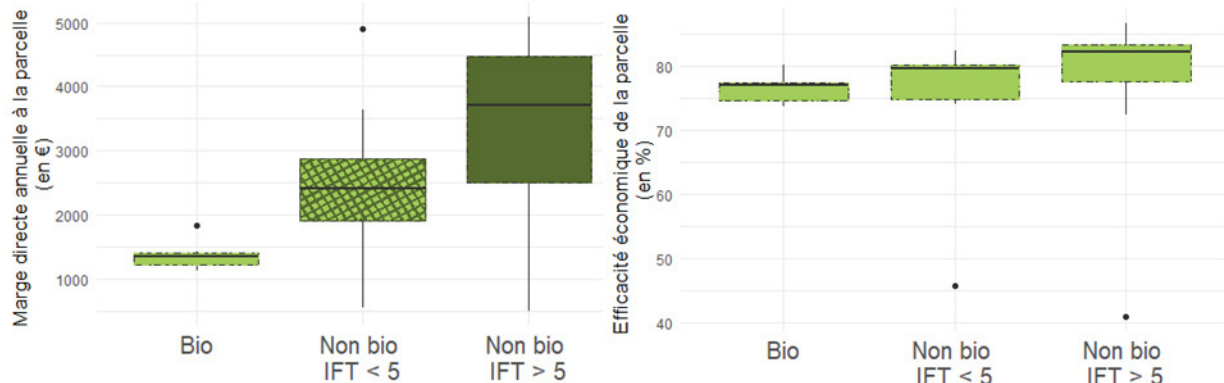


Figure 19 : Marge directe annuelle et efficacité économique de la parcelle en fonction du type de conduite. Source Fontanel.

Si les exploitations conventionnelles génèrent une marge directe supérieure aux autres, l'ensemble des exploitations possèdent une bonne efficacité économique (Figure 19, ns), c'est-à-dire que les charges sont suffisamment basses par rapport aux margées dégagées. Il n'y a pas de différences significatives entre les 3 groupes, donc toutes les parcelles sont rentables.

Par ailleurs, la biomasse microbienne (Figure 20) et l'abondance de nématodes libres (annexe 12) sont les plus élevées dans les sols du groupe « Bio » (p-value = 0.05). L'indice COMFOOT est lui aussi plus grand sur les parcelles biologiques (Annexe 12). Ces résultats montrent qu'il y a un effet positif de l'absence d'utilisation de produits phytosanitaires de synthèse et d'intrants minéraux sur le développement de la vie du sol. Cependant, le manque de différences entre les deux groupes conventionnels – pour la biomasse microbienne – ne prouve pas que la quantité de produit utilisé n'a pas d'impact sur la vie du sol. En effet, beaucoup d'autres pratiques doivent être prises en compte pour comprendre cet effet et nos groupes sont trop hétérogènes.

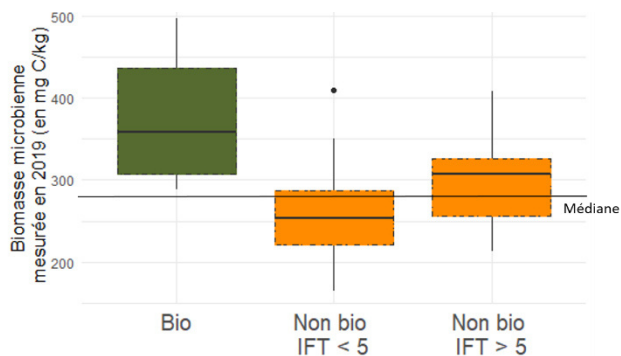


Figure 20 : Biomasse microbienne mesurée en 2019 selon le type de conduite. Source Fontanel.

Concernant les indicateurs chimiques, la CEC semble être plus faible sur les parcelles biologiques, alors que le rapport C/N semble favorisé sur les parcelles moyennement intensives (Annexe, ns). Aucune explication possible n'a été trouvée. Mais la diversité des pratiques non prises en compte dans cette

classification pourrait expliquer ces variations. Certaines pratiques ou paramètres inhérents au sol peuvent faire varier la CEC et le C/N.

Les taux de matières organiques sont similaires dans les groupes de pratiques (Annexe 12). Ces résultats semblent étonnants mais la complexité des pratiques mises en place sur les exploitations lisse certainement les résultats.

→ **La conduite sans intrants chimiques permet donc d'allier bonne rentabilité de l'exploitation et surtout de préserver et favoriser le développement microbien dans le sol !**

### 3.2. La dégradation d'un slip, indicateur de fertilité des sols ?

Des slips en coton enterrés sur les parcelles REGAIN ont été dégradés en 2 mois, par la vie du sol. En moyenne, les slips ont perdu 23,4 % de leur masse, avec un poids minimum de slip à 23,6 grammes et un maximum à 36,10 grammes (Figure 21).

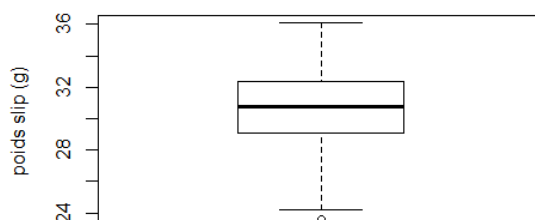


Figure 21 : Le poids des slips sur les parcelles du Réseau Sol, enterrés en 2021. Source Fontanel.

#### 3.2.1. Création des groupes de type de sol

Les résultats de l'ACP et de la classification hiérarchique sont présentés en Annexe 13. Les axes représentent respectivement 47,9 % et 30,2 % de la variabilité, ce qui signifie que presque 80 % de la variabilité est conservée dans ce modèle. Trois groupes de type de sol ont été créés grâce à l'HCPC. L'effet des 3 groupes sera étudié par la suite et ils se définissent comme suit :

Tableau 13 : Description es groupes de type de sol créés par HCPC sur le logiciel R. Source Fontanel.

	Argilo-sableux	Argilo très calcaire	Argilo-calcaire
Nombre de parcelles	11	18	9
Argile	37.87	38.92	48.03
Sables	18.42	14.91	10.97
Calcaire total	21.06	50.63	42.19

#### 3.2.2. Corrélation entre le poids des slips et les autres indicateurs

Aucune corrélation n'a été observée entre la variable du poids du slip et les autres indicateurs de fertilité des sols (Annexe 14). Cela est étonnant du fait que les slips sont principalement dégradés par la biomasse microbienne (entretien avec Claire Marsden). On s'attendrait donc à voir des corrélations entre, notamment, la biomasse microbienne mesurée en 2019 et le poids des slips. Ce n'est pas le cas ici. En effet, la mesure de biomasse date de 2019, elle a pu évoluer pour certaines parcelles puisqu'elle est sensible au changement de pratique et de milieu. Il aurait été intéressant également de regarder la corrélation avec une variable rendant compte de l'humidité des sols sur la période d'enterrement des slips mais cette donnée n'existe pas.

#### 3.2.3. Effet des pratiques et des types de sol sur la dégradation des slips

L'ensemble des résultats des variables analysées statistiquement sont présentés en Annexe 15. Mais les paragraphes ci-dessous s'attardent sur les observations visuelles et les analyses statistiques les plus intéressantes, pour les modalités évaluées. L'analyse des résultats du test du slip présentée ci-après mêle les observations visuelles et l'analyse statistique. Seulement les résultats d'intérêt sont présentés. La totalité des analyses réalisées se trouve dans l'annexe 15.

##### 3.2.3.1. L'enherbement inter-rang

Les parcelles ayant été enherbées les 2 premières années après la plantation semblent avoir de meilleurs taux de dégradation que celles n'ayant jamais été enherbées (observation visuelle). Voici 2 exemples (Figure 23 & Figure 22) :





Figure 23 : Expérimentation 1 : enherbement semé en début de culture puis couvert spontané. Source photo Fontanel.



Figure 22 : Expérimentation 2 : enherbement semé en début de culture. Source photo Fontanel.

Il semblerait qu'un sol couvert, uniquement en début de culture ou re-semé chaque année, favorise la dégradation des slips. Néanmoins, les slips les moins dégradés se trouvent sur des parcelles enherbées en permanence, où les sols étaient très secs lors du déterrage.

L'analyse statistique de l'ensemble des slips du Réseau Sol confirme que les parcelles ayant été enherbées, uniquement les premières années de plantation, ont un taux de dégradation des slips significativement plus important que les parcelles qui sont encore enherbées aujourd'hui (Figure 24, p-value = 0.05). Les sols enherbés en permanence possèdent donc des slips peu dégradés. Ceci pourrait s'expliquer par le prélèvement d'eau dans le sol par la couverture permanente, qui assèche ainsi davantage le sol, et semble diminuer l'activité de dégradation du slip des organismes du sol. En revanche, l'enherbement en début de culture semble moins assécher le sol et favoriser la présence, sur le long terme,

d'organismes qui dégradent la matière carbonée. Cependant aucune donnée sur l'état d'humidité du sol n'est disponible pour confirmer ou infirmer cette hypothèse.

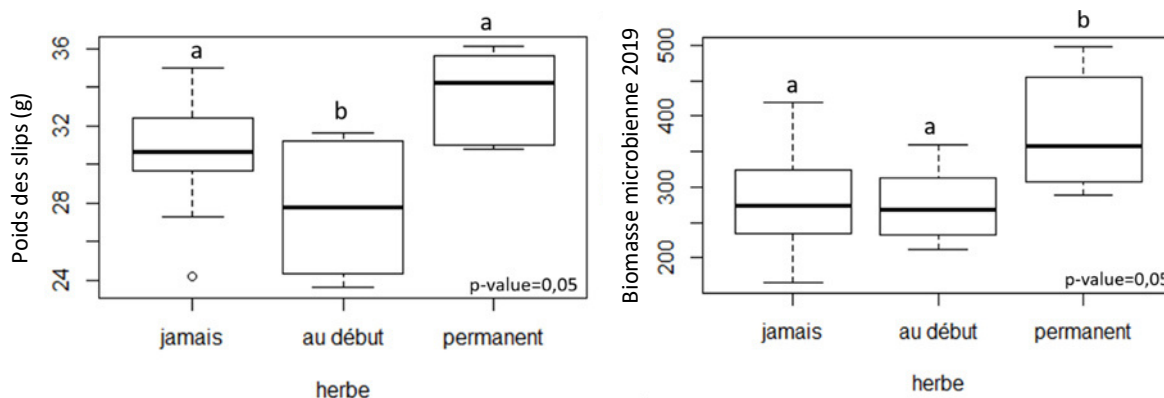


Figure 24 : Poids du slip et biomasse microbienne mesurée en 2019 selon le type d'enherbement de l'inter-rang.

Une autre hypothèse est celle de l'état d'activité de la biomasse microbienne. En effet, le taux de BM – mesuré en 2019 – est significativement plus important dans les parcelles qui sont enherbées en permanence, par rapport aux autres (non enherbées et enherbées uniquement en début de culture, Figure 24, p-value = 0.05). Il est possible d'émettre plusieurs hypothèses à cette observation :

- La biomasse microbienne est présente en quantité dans les parcelles enherbées en permanence, qui sont certainement plus riches en MO libre. Cette hypothèse n'est pas vérifiée par l'observation des fractions de MO mesurées en 2019 puisque qu'en 2 ans, les taux de MO du sol peuvent évoluer. Mais si les parcelles qui accueillent beaucoup de BM, possèdent aussi

beaucoup de MO diversifiée, les organismes du sol s'attaquent peut-être directement à cette MO diversifiée plutôt qu'au slip qui est une matière très carbonée. Il faut donc, pour dégrader ces slips, une source d'azote disponible pour les organismes du sol importante. En opposition, les slips très dégradés des parcelles conventionnelles, où il y a moins de BM et donc potentiellement moins de matière organique, sont préférentiellement attaqués par la vie du sol. En effet, c'est une source de nourriture dans un sol « pauvre », qui reçoit aussi régulièrement des apports d'engrais azotés minéraux. Ces apports aident donc directement les organismes du sol à dégrader la matière carbonée qu'est le slip.

- Une seconde hypothèse rejoint le volet azoté. En effet, les organismes du sol ont besoin d'azote pour dégrader le slip (matière très carbonée), qui leur est apporté en quantité dans les parcelles conventionnelles. En opposition, les parcelles enherbées en permanence ne reçoivent pas ou peu d'engrais minéraux. De ce fait, les organismes du sol ont moins d'azote à disposition, et dégradent ainsi moins les slips. Il est difficile d'infirmer ou confirmer cette hypothèse puisque les analyses de sol datent de 2019 et le volume d'azote du sol évolue très vite.

### 3.2.3.2. Les apports de compost entre 2020 et 2021

Les apports de compost sur les deux dernières années semblent être bénéfiques sur le taux de dégradation des slips mais la différence visuelle est très légère. L'analyse statistique montre également une tendance à une dégradation plus importante pour les slips enterrés sur les parcelles ayant reçu du compost récemment mais la différence n'est pas significative (Figure 25 : Poids des slips selon les apports de compost entre 2020 et 2021. , ns). En effet, ces apports récents peuvent booster la vie du sol rapidement, en leur offrant un habitat favorable - maintien de l'humidité et de la fraîcheur, une source de nourriture... - ce qui permettrait une plus grande dégradation des slips.

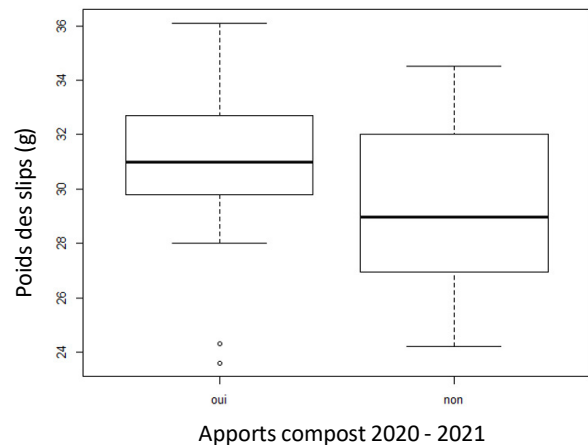


Figure 25 : Poids des slips selon les apports de compost entre 2020 et 2021.

### 3.2.3.3. Le type de sol

La première analyse visuelle de l'effet du type de sol (modalité 6) semble montrer que chez un même agriculteur – les pratiques agricoles sont exactement les mêmes sur les 2 modalités – le type de sol joue sur la dégradation du slip (Figure 26). Cependant, cette observation n'a pas été confirmée par l'analyse statistique (Annexe 15, ns) puisque la variabilité des pratiques joue davantage que le type de sol (Delhal, 2019 ; Chignier 2017). L'effet des différents types de sol est donc moins visible sur l'ensemble de l'échantillon de parcelle du Réseau Sol.

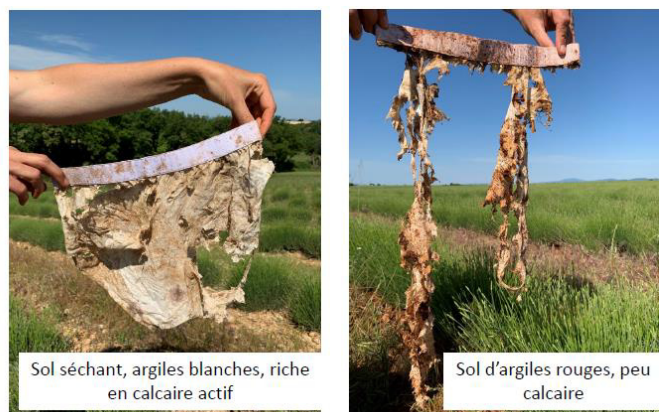


Figure 26 : Expérimentation 6 : effet du type de sol sur la dégradation du slip. Source photo Fontanel.

### 3.2.3.4. Le précédent cultural

La comparaison de la modalité 10 (Figure 27) présentant l'effet du précédent cultural sur la dégradation du slip montre qu'une parcelle préalablement cultivée en blé dur, semble plus favorable à la dégradation du slip qu'une parcelle de monoculture de lavandin.

Cette observation n'a pas été prouvée statistiquement puisque les classes de pratiques anciennes, principalement discriminées selon le type de précédent cultural, n'influent pas significativement les taux de dégradation des slips (Annexe 15, ns). En effet, le nombre de pratiques entrant en jeu dans la dégradation du slip sont trop nombreuses : pratiques mises en place avant la plantation du lavandin, cumulées aux pratiques depuis 2017. Il serait intéressant de faire une analyse similaire sur un échantillon de parcelles moins hétérogène.



Figure 27 : Expérimentation 10 : effet du précédent cultural sur la dégradation du slip. Source photo Fontanel.

### 3.2.3.5. La fertilisation azotée

On s'attendrait à avoir une moindre dégradation des slips sur les parcelles recevant beaucoup d'azote minéral puisque ces apports ont un effet défavorable sur le développement des organismes du sol (Delhal, 2019 ; résultats de la précédente analyse). Néanmoins, au vu des résultats statistiques, les parcelles recevant les apports d'azote minéral les plus importants sont celles qui présentent les slips les plus dégradés (Figure 28). Cette observation confirme l'hypothèse évoquée en 3.1.3.1. En effet, les slips sont de la matière très carbonée, qui est une source de carbone pour les micro-organismes. Mais pour dégrader le carbone, ils ont besoin d'azote. S'il y a un manque d'azote dans le sol, la décomposition de la matière carbonée sera moins efficace. De ce fait, les parcelles ayant reçu beaucoup d'azote minéral ont permis aux organismes de se nourrir convenablement en azote pour dégrader le carbone du slip.

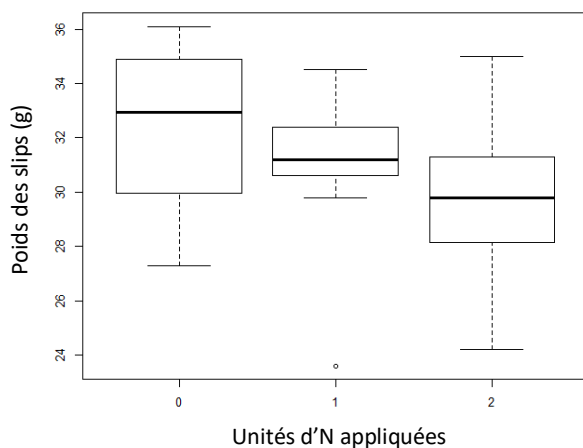


Figure 28 : Poids du slip selon les unités d'azote appliquées. 0 = pas d'apports ; 1 = apports moyens ; 2 = apports élevés. Source Fontanel.

Cette observation va dans le sens de la nécessité de porter attention à la faim d'azote lors de l'apport de matière organique, souvent très carbonée. En effet, les risques de manque d'azote dans les sols, disponible pour les organismes, est élevé lors d'apports organiques. Si ce risque est avéré, les micro-organismes qui dégradent la MO vont manquer d'azote et vont aller puiser dans les ressources du sol et ainsi concurrencer les cultures. De plus, lorsque l'azote du sol devient limitant, l'activité de décomposition des microorganismes est ralentie. Il est donc parfois souhaitable de faire des compléments en azote minéral sur les cultures fertilisées organiquement. Néanmoins,

la faim azotée n'est pas encore très étudiée chez la lavande et le lavandin. Il faudrait orienter la recherche vers cet aspect de la fertilisation.

### 3.2.4. Restitution du test auprès des professionnels et communication

La journée de restitution a été concluante puisque 12 agriculteurs et agricultrices ont été présents, ainsi que 11 partenaires techniques et une journaliste. Les échanges ont été riches et ont fait remonter certains questionnements : la question de la fertilisation azotée, des apports de matière organique...

En parallèle, une publication Facebook par le PNRV et le partage d'un communiqué à la presse locale a été la source de 9 articles publiés par des journaux comme *Alpes 1 – Alpes du Sud*, *Bleu Tomate le mag* ou encore *BFM DICI*.

### 3.3. Aperçu du guide et de témoignages

Le guide final a été envoyé à l'impression dans le courant du mois de septembre et sera imprimé à 200 exemplaires. Voici la couverture du document produit (Figure 29) :

Le sommaire du guide ainsi qu'un exemple d'interview intégrée au guide est présenté en annexe 16.

L'ensemble des partenaires et des relecteurs de ce guide semblent satisfaits par le résultat.



Figure 29 : Couverture du guide pédagogique réalisé au cours de ce stage.

## 4. Discussion

### 4.1. Des résultats intéressants mais critiquables

#### 4.1.1. Critique des résultats obtenus et pistes d'amélioration

Les résultats de cette étude ont montré que les différentes pratiques agricoles en lavandin ont un effet sur les indicateurs de fertilité des sols. En effet, la combinaison « **peu de travail du sol et enherbement** » a un l'impact positif sur les indicateurs biologiques. Comme dans l'étude de Karimi (2020), les parcelles où était implanté un couvert accueillent davantage de nématodes ce qui traduit un environnement plus favorable à leur développement. Il serait maintenant intéressant d'approfondir l'étude de différents couverts, selon s'ils sont permanents ou temporaires, semés ou spontanés, les espèces plantées, la durée d'implantation... En effet, le test du slip a montré un effet plutôt asséchant du couvert permanent, qui semble défavoriser légèrement la dégradation du tissu, et donc l'activité d'une partie de la vie du sol. L'autre hypothèse évoquée dans la partie 3.2. *Résultats* concerne la disponibilité en azote pour les organismes dans les parcelles couvertes en permanence, qui sont souvent associées à des pratiques extensives, voire sans intrants minéraux et chimiques. En effet, il est possible que ces organismes manquent d'azote dans ces conditions puisque le couvert puise directement dans le stock azoté du sol (Scopel, Douzet 2005). Mais les effets d'un couvert permanent ne peuvent se résumer à la dégradation d'un slip. Il ne faut pas oublier que ce test n'est pas normé car il possède de nombreux biais. Il faudrait pouvoir quantifier les autres bénéfices d'une couverture végétale inter-rang permanente sur l'érosion des sols, le stockage du carbone, ou encore sur les stocks de MO, la contribution à la résistance à la sécheresse...

Par ailleurs, l'**enherbement** semble être davantage favorable à la fertilité du sol lorsqu'il est couplé à des **apports de matière organique**. Delhal (2019) avait montré que le stock de MO libre est plus important dans les sols couverts. Les résultats de cette étude semblent indiquer que les parcelles enherbées et ayant reçu de la MO, possèdent des taux de MO libre et d'organismes (biomasse microbienne et nématodes) plus élevés par rapport aux sols nus, sans apports organiques. En effet,

l'enherbement apporte principalement une stabilisation du sol et une résilience sur le long terme. Les apports de MO complémentaires boostent la vie du sol, qui va elle-même jouer sur la structure de celui-ci, et améliorer également sa stabilité. Ces résultats confirment ceux obtenus par Karimi en 2020 en culture de vignes où la population microbienne est plus importante dans les sols recevant de la MO. Il est toutefois important de faire attention à la faim d'azote, encore peu étudiée en culture de lavandin, et à la concurrence entre le couvert et la culture principale.

Les **apports de matière organique**, même seuls, semblent être une des clés pour aller vers une agriculture plus résiliente sur le territoire en reconquérant le capital sol. En effet, Karimi (2020) montrait que les apports organiques boostaient la vie du sol, ce qui se traduit dans la présente étude par une biomasse microbienne plus élevée sur les parcelles recevant de la MO. De plus, la combinaison **d'engrais et d'amendement** organiques semble être la meilleure solution pour favoriser la fertilité biologique des parcelles du Réseau Sol. Cette observation a été confirmée avec le test slip puisque ceux enterrés dans des parcelles ayant reçu du compost sont davantage dégradés que ceux n'en n'ayant pas reçu. Cet amendement permet dans les 2 cas étudiés, de favoriser l'activité microbienne qui dégrade davantage les slips qu'en sol non amendé. Il serait intéressant de regarder par la suite l'effet de différents types d'engrais et amendement organiques, en termes de dégradation, de persistance dans le sol, d'accessibilité des nutriments aux plantes et d'état sanitaire...

Par ailleurs, le CRIEPPAM et Karimi (2020) ont montré que l'enherbement peut être un moyen de lutte efficace contre des pathogènes, et plus précisément contre le vol de la cicadelle responsable du **dépérissement** en lavandin. Cependant, l'effet sur le dépérissement des cultures n'est pas prouvé par les résultats du Réseau Sol (présente étude). En effet, l'hétérogénéité des parcelles du Réseau, et l'apparition progressive du dépérissement sur une culture ne permet pas d'évaluer clairement cette variable. Il faut, comme Delhal l'a fait en 2019, comparer des parcelles similaires en termes de caractéristiques pédoclimatiques et agronomiques, afin de pouvoir espérer voir des différences. De plus, il est nécessaire d'augmenter le nombre de répétition pour chaque modalité observée, pour donner davantage de poids à une potentielle nouvelle analyse statistique. Néanmoins, d'après des discussions avec des agriculteurs touchés par le dépérissement, la couverture du sol couplée à une fertilisation organique, semble être une bonne alternative au dépérissement des cultures.

Il a été observé sur les parcelles REGAIN qu'un **binage** important défavorisait le développement de la vie du sol. Ces résultats confirment ceux de Karimi (2020) en vigne et Delhal (2019) en lavandin, où un travail intensif du sol est lié à des indicateurs de fertilité biologique faibles. Néanmoins, le travail du sol reste un outil intéressant pour aérer la structure des sols qui sont souvent très tassés sur le territoire d'étude. Il est sans aucun doute compliqué d'arrêter complètement le travail du sol sur certaines parcelles puisque cette action permet à l'eau de pénétrer la couche superficielle du sol, et évite la perte d'eau par évapotranspiration. En effet, le binage crée une rupture de porosité entre le sol profond et le sol superficiel, très poreux après binage (entretien avec Claire Marsden). Il serait intéressant de débiter une expérimentation sur l'effet du binage raisonné couplé à un mulch des parcelles. Le mulch permettrait de protéger le sol et de bloquer l'évapotranspiration du sol. Mais un mulch peut retenir l'eau en surface et freiner son infiltration, ce qui peut devenir un problème.

Ce sont les rotations diversifiées qui favorisent des indicateurs de fertilité des sols élevés. En effet, la biomasse microbienne semble davantage se développer dans les parcelles qui ont reçu des assolements diversifiés, en comparaison des parcelles en culture blé-lavandin ou en monoculture de PAPAM depuis plusieurs années. Néanmoins, le grand nombre de pratiques et de paramètres inhérents au sol entrant en jeu dans cette analyse complique l'analyse des résultats. Il faudrait pouvoir comparer, de manière plus rigoureuse, différents types de rotations, cultivées de manière plus homogène dans chaque groupe. Il serait intéressant d'évaluer l'effet de rotations très différentes

comme une monoculture de lavandin et une rotation longue incluant légumineuses, céréales locales et prairies temporaires pâturées par exemple. A cette image, la démarche REGAIN débute un projet sur la diversification des cultures.

Par ailleurs, l'effet du type de sol, comme l'avait déjà montré Chignier et Delhal en 2017 et 2019, impacte moins la fertilité des sols que les pratiques agricoles. Ainsi, lors de l'étude de l'ensemble des slips enfouis dans les parcelles du Réseau Sol en fonction du type de sol, cette variable ne semble pas impacter leur dégradation. La diversité des pratiques agricoles joue davantage. Cet effet est observé lors de l'analyse visuelle des slips sur des parcelles d'un même agriculteur – avec les mêmes pratiques – mais dans un contexte pédologique totalement différent. Ainsi il serait intéressant d'approfondir cette variable en créant des répétitions et des comparaisons de types de sols dans des conditions comparables.

Enfin, sur le plan **économique**, les résultats de cette étude montrent que les parcelles conduites en agriculture sans intrants chimiques, certes, ont des rendements et des produits largement inférieurs à des parcelles conventionnelles, mais elles ont aussi moins de charges, et semblent rentables. Il faudrait néanmoins étudier l'ensemble des exploitations afin de prendre en compte les charges d'exploitations et les amortissements de matériel qui sont probablement largement inférieures pour les parcelles biologiques. Il est d'autant plus important de réaliser une étude plus poussée que les parcelles du Réseau Sol sans intrants chimiques favorisent la vie du sol, et donc la résilience des parcelles. De plus, il paraît important d'intégrer un volet social à cette étude puisque les objectifs de chaque agricultrice et agriculteur sont différents. Il serait par exemple intéressant de créer un indice de satisfaction au travail, car, dans l'étude de (Rohellec, Mouchet 2004) sur l'efficacité économique d'exploitations laitières en agriculture durable, ce type d'agriculture est « plus rentable à titre personnel pour l'exploitant [...] et plus favorable pour la société ».

#### 4.1.2. Le Réseau Sol : un réseau hétérogène difficile à analyser, mais dynamique

Enfin, il est important de rappeler que le Réseau Sol de parcelles du projet REGAIN est basé sur le volontariat. De ce fait, les modalités observées au champ ne permettent pas d'étudier particulièrement l'effet d'une pratique ou d'une variable sur des indicateurs spécifiques. Afin d'améliorer la robustesse des résultats statistiques, il faudrait, à l'avenir, faire davantage de répétitions d'analyses de sol et de vie du sol (plusieurs répétitions par modalité), sur des fermes aux caractéristiques similaires. Cela permettrait de comparer spécifiquement certaines pratiques. **Néanmoins, produire des données robustes n'est pas le but premier du projet REGAIN qui vise davantage à donner la parole aux exploitants et exploitantes du territoire pour qu'ils partagent leurs expériences en fonction de leurs propres objectifs et contraintes, et suivre des fermes aux systèmes agricoles complexes et innovants.**

## 4.2. Toucher un maximum de professionnels et promouvoir l'agroécologie dans un contexte agricole où il est difficile de faire changer les mentalités

L'objectif du présent stage, et plus largement de la démarche REGAIN, est de diffuser les connaissances de pratiques agroécologiques au sein d'un territoire à enjeux agronomiques et environnementaux forts. Les résultats de cette étude montrent l'avantage de certaines pratiques agricoles sur la fertilité des sols comme l'enherbement des inter-rangs et les apports de matière organique en culture de lavandin. Néanmoins, malgré ces démonstrations depuis plusieurs années, la popularité de certaines pratiques est encore faible. Le manque de références sur le sujet et de méthodologie « clé en main » bloque de nombreux agriculteur.trice.s. Grâce à des projets territoriaux comme REGAIN, de plus en plus de professionnels éprouvent la volonté d'échanger autour de la problématique de fertilité des sols, et ainsi, pallier au manque de références sur le sujet. Le nombre de professionnels entrant dans

le Réseau Sol est passé de 22 à 29 personnes entre 2017 et 2021. Cette augmentation montre bien l'intérêt croissant des agriculteur.trice.s du territoire pour ces thématiques agroécologiques.

#### 4.2.1. Le guide pédagogique est-il le meilleur outil de communication pour diffuser des résultats techniques ?

Le guide pédagogique est un bon moyen pour synthétiser régulièrement les résultats de la démarche REGAIN. Néanmoins, puisqu'il a pour but premier d'être pédagogique, le guide et les analyses statistiques ont souvent été simplifiés, ce qui enlève de la robustesse à l'analyse. Cette simplification des résultats est critiquable mais nécessaire pour pouvoir transmettre la majorité de la connaissance à un public aussi large que celui du Réseau Sol et de REGAIN en général. Aussi, le choix de présenter des résultats statistiques à un public non scientifique a été pesé. Il paraissait nécessaire de rentrer dans le détail pour éviter toute conclusion hâtive, et tenter d'explicitier des résultats complexes, souvent dus à l'hétérogénéité de l'échantillon de parcelles. Pour que les principaux concernés apprécient ce guide, il a été effectivement choisi de rassembler les parcelles selon des pratiques similaires qui sont souvent associées et qui posent débat, et d'évaluer leurs effets sur des indicateurs simples de la fertilité des sols. La méthode de regrouper les parcelles par pratique n'est donc pas l'analyse la plus robuste puisqu'elle ne prend pas en compte la totalité de la variabilité.

Par ailleurs, le guide pédagogique n'est pas un outil adapté au partage trop fréquent d'information. En effet, puisqu'il est relativement conséquent, il est probable qu'il soit peu lu si les publications sont régulières. Il serait donc intéressant de communiquer auprès des agriculteurs et agricultrices partenaires du projet d'une manière innovante. Lors du premier CODIR auquel j'ai assisté, l'idée de produire des petites vidéos explicatives des résultats recueillis lors du projet a été soulevée. Une grande partie des agriculteurs semblent intéressés par ce moyen de communication, qui pourra éventuellement toucher un public plus large.

#### 4.2.2. Le test du slip est un outil pédagogique cohérent mais qui possède des biais technique et analytique importants

La journée technique autour des résultats du test slip et de profils pédologiques qui a eu lieu le 3 septembre 2021 a rassemblé 12 agriculteurs et agricultrices partenaires du projet REGAIN, et 11 professionnels. Cet événement montre que les acteurs du territoire sont impliqués dans le partage de connaissance et souhaitent échanger sur la thématique de fertilité des sols, de l'agroécologie pour trouver des systèmes plus résilients tant agronomiquement qu'économiquement.

Par ailleurs, l'outil de communication du test du slip a très bien fonctionné pour les acteurs agricoles mais aussi pour le grand public. Cette diffusion de l'information montre que ce sujet intéresse à la fois les professionnels et les citoyens du territoire. Il est donc important de continuer à communiquer sur les efforts faits au sein de REGAIN pour améliorer la durabilité de l'agriculture.

Néanmoins, la qualité et la robustesse du test est très critiquable. En effet, ce test n'est pas normé, et l'analyse des résultats reste complexe : quels organismes interviennent exactement dans la dégradation du coton ? Sont-ils les plus bénéfiques à la fertilité des sols ? Et bien d'autres questions se posent. Pour améliorer l'analyse de ce test, il faudrait le coupler à une analyse complète du sol au moment du test, de sa fertilité (biomasse microbienne, fractionnement des MO, espèces de la nématofaune, stock azoté...) et de son humidité. Ces analyses peuvent fournir des clés comprendre l'effet de ces différents paramètres sur la dégradation du slip. En effet, d'après des discussions avec Claire Marsden et Sophie Dragon-Darmuzey, la dégradation de matière carbonée semble être liée à l'état d'humidité du sol et potentiellement à la fourniture en azote de celui-ci. Mais le test du slip reste un outil intéressant pour sensibiliser les publics puisque les agriculteurs et agricultrices du Réseau Sol

ont souhaité, et fait eux-mêmes des propositions pour faire le test sur des parcelles autres. Cela montre bien leur implication et leur volonté à évaluer la vie de leurs sols.

Clémence Boutfol à la Chambre d'Agriculture du Var a également réalisé le test du slip sur des parcelles viticoles en 2021. L'analyse des résultats du test n'a pu être menée avant la fin de la rédaction de ce présent rapport. Il serait intéressant de comparer les résultats des deux études, puisque la vigne et le lavandin sont comparables sur certains points. Le protocole d'analyse pourrait ainsi être amélioré.

### 4.3. Une expérience formatrice et diversifiée au Parc du Verdon

Au cours de ce stage, j'ai pu appréhender un territoire agricole spécifique et m'approprier les résultats d'une étude de parcelles volontaires sur le long terme. Ce travail m'a permis de comprendre et d'être critique face aux résultats recueillis, tout en gardant à l'esprit la complexité du matériel à disposition pour cette étude.

De plus, ce stage a fait l'objet d'une vulgarisation scientifique dans le but de présenter à la fois des thématiques théoriques, et des résultats d'analyse, à un public non scientifique. J'ai pour cela mis en œuvre des compétences de synthèse bibliographique et j'ai travaillé en collaboration avec un illustrateur pour rendre pédagogique des thématiques scientifiques. De plus, j'ai identifié les besoins du public visé afin de produire une synthèse adaptée : précise mais aussi compréhensible de tous.

Toujours dans le cadre de la rédaction du guide, j'ai appris à aller chercher l'information auprès de spécialistes de sujet particulier et du territoire. J'ai également interviewé des professionnels et donc mis en pratique la préparation et la gestion d'un entretien, en s'adaptant à chaque fois au public.

Par ailleurs, j'ai pu mener à bien un projet de rédaction, en accord avec les besoins du public et les contraintes des partenaires et financeurs. En effet, le syndicat mixte de gestion du Parc du Verdon est un organisme public très politisé qui oblige à prendre en compte cet aspect politique, surtout sur des écrits publics.

Plus largement sur la gestion de projet, la réalisation du guide m'as permis de mettre en application mes compétences de gestion des délais, de travail en équipe et de collaboration avec des professionnels. J'ai beaucoup apprécié ce contact régulier avec différents partenaires et professionnels.

Une piste d'amélioration personnelle est de davantage gérer en amont le timing, en essayant de prioriser les objectifs et de planifier sur le « long terme » l'organisation des missions. En effet, la fin du stage a cumulé la finalisation du guide qui a mal été évaluée en terme de temps de relecture par exemple, et qui s'est largement chevauchée avec la période dédiée à l'écriture du présent rapport. Finalement, les deux écrits sont terminés dans les temps et je suis globalement satisfaite des résultats.

Ce stage, et plus globalement la formation d'ingénieur agronome de l'ENSAT, m'ont conforté dans l'idée de travailler dans les domaines suivants : le sol et l'agriculture dans le domaine expérimental, mais surtout avec une transmission et une vulgarisation de l'information. Ces expériences m'ont aussi permis de m'ouvrir à différents types d'entreprise et de souhaiter poursuivre mon avenir professionnel dans une des voies de la recherche appliquée, et/ou de l'associatif.



## Conclusion

Créée dans l'optique de diffuser l'agroécologie et de favoriser les échanges entre professionnels, la démarche REGAIN rassemble les acteurs du territoire et stimule l'innovation sur le plateau de Valensole. Le Réseau sol regroupe des agriculteurs et agricultrices motivés, utilisant une grande diversité de pratiques en lavandin. Ce projet de longue haleine a maintenant fait ses preuves puisqu'il permet de maintenir un groupe de professionnels moteur cherchant une certaine résilience agricole, et qui s'agrandit d'année en année. Cette démarche conserve un pied ancré dans la terre puisque la totalité des expérimentations se fait sur les fermes partenaires, avec des contraintes et objectifs propres à chacune d'entre elles. Cette diversité complétée par des partenaires techniques spécialisés engagés et présents sur le long terme, fait la force de REGAIN. Le travail du présent stage a été de valoriser au mieux l'ensemble de ces dynamiques et d'ainsi faire perdurer le travail démarré dès 2014, permettant de produire de la connaissance sur les sujets phares du lavandin et de l'agroécologie. Le guide pédagogique produit à l'issue de ce stage servira de support de diffusion du travail de la démarche REGAIN, pour convertir une majorité de professionnels du territoire aux pratiques agroécologiques.

Plus particulièrement, l'évaluation de la fertilité des sols est complexe mais c'est un sujet qui intéresse de plus en plus la communauté agricole du territoire d'étude et qui est très prometteur pour faire changer les mentalités. Pour réaliser ces évaluations, il est nécessaire de choisir un certain nombre d'indicateurs représentant la fertilité, ce qui biaise l'analyse mais qui permet d'évaluer un système ou un ensemble de parcelles hétérogène et diversifié. C'est ce qui a été fait dans le présent rapport et qui a permis de montrer que certaines pratiques agricoles favorisent de bons indicateurs de fertilité des sols, tout en conservant les objectifs de chaque exploitation. Les travaux réalisés pendant ce stage confirment que l'enherbement des inter-rangs de lavandin, la réduction du travail du sol et les apports et restitution de matières organiques sont des pratiques permettant une bonne fertilité en termes de biologie, de chimie et de structuration du sol. A l'inverse, les travaux ont également montré qu'un travail du sol trop fréquent et la non couverture de l'inter-rang sont des pratiques souvent associées à des indicateurs de fertilité plus faibles, qui favorisent l'érosion et la pollution de l'environnement par lessivage des intrants. Néanmoins, même si cette étude est réductrice, il est nécessaire de regarder les résultats en ayant à l'esprit que chaque exploitation possède ses propres contraintes et ce afin de façonner des systèmes agricoles durables et vivables pour tous les exploitants et exploitantes.

Par ailleurs, d'autres pratiques agricoles extérieures au système lavandicole sont prometteuses pour améliorer durablement les sols et diminuer la pression de l'agriculture sur l'environnement. La diversification des cultures, le retour de l'élevage, la fertilisation organique, la gestion résiliente des intrants, ou encore l'agroforesterie sont des pistes cohérentes et réfléchies au sein des partenaires REGAIN. Il serait également intéressant dans l'avenir de mesurer la fertilité des sols grâce à des indicateurs connus, qui permettraient de rendre plus robustes les analyses de fertilité du sol du Réseau Sol. Par exemple, l'indicateur Biofunctool® mis au point récemment par l'UMR Eco&Sol de Montpellier semble être une piste intéressante puisqu'il permet de mesurer grâce à une agrégation de 9 sous-indicateurs, la santé des sols. Certes cette note synthétique possède des biais mais elle permettrait de donner une note unique à chacune des parcelles du Réseau Sol, et de pouvoir les comparer plus largement à des systèmes de cultures similaires ou non.

Finalement, les résultats des présents travaux et de la démarche REGAIN en général, montrent que l'emploi de pratiques agroécologie peut améliorer la fertilité des sols et ainsi, de tendre vers une agriculture plus résiliente. Le guide pédagogique permet également de promouvoir et diffuser les résultats auprès du plus grand nombre afin de les sensibiliser à la question de fertilité des sols. Néanmoins, il convient de dire que d'importants travaux complémentaires restent nécessaire afin de trouver des systèmes résilients, vivables et viables pour tous.

## Bibliographie

- ANFRAY, Pierre, 2017. *Guide pratique de la vie des sols*. France Agricole. Agriproduction. ISBN 978-2-85557-554-4.
- BORNAND, Michel et DOSSO, Mireille, 2015. *Sols et histoire récente de l'agriculture sur le Plateau de Valensole, Constats et perspectives*. Etude et Gestion des Sols. Vol. 22, pp. 43-58.
- CARDONA, Aurélie, 2014. *L'introduction de la notion de 'services écosystémiques' : pour un nouveau regard sur le sol?* pp. 15.
- CHABERT, Ariane et SARTHOU, Jean-Pierre, 2017. *Agriculture de conservation des sols et services écosystémiques*. Droit et Ville. Vol. N° 84, n° 2, pp. 135-169. DOI [10.3917/dv.084.0135](https://doi.org/10.3917/dv.084.0135).
- CHAILAN, Claude, 2013. *Production et marchés des huiles essentielles de lavande & lavandins*. FranceAgriMer. pp. 13.
- CHAUSSOD, R, 1996. *La qualité biologique des sols : évaluation et implications*. Étude et Gestion des Sols. pp. 18.
- CHAUVIN, Camille et VILLENAVE, Cécile, 2019. *Caractérisation du fonctionnement biologique du sol du plateau de Valensole par analyse de la nématofaune*. ELISOL environnement. pp. 11.
- CHIGNIER, Maxime, 2017. *La qualité des sols sur le plateau de Valensole : étude de l'impact des pratiques agricoles sur la qualité des sols en culture de lavandin*. Mémoire de fin d'études - ingénieur agronome. Montpellier SupAgro.
- CRIEPPAM, 2019. *Compte Rendu Technique : RECITAL : Réponses aux Evolutions Climatiques par l'Innovation et les Techniques Alternatives dans les Lavanderaies*. CRIEPPAM.
- DELHAL, Alix, 2019. *Etude de la qualité des sols du plateau de Valensole : mise en relation avec les pratiques agricoles et l'état sanitaire de la culture*. Mémoire de fin d'études - ingénieur agronome. Montpellier SupAgro.
- DRAGON-DARMUZEY, Sophie, 2021. *Propriétés des sols*. 30 août 2021. Interview.
- DRAGON-DARMUZEY, Sophie, ROMAN, Charles et URRUTY, Nicolas, 2020. *Présentation MEDAGRI - Projet REGAIN*. Démarche REGAIN.
- DUCHAUFOR, Philippe, FAIVRE, Pierre, POULENARD, Jérôme et GURY, Michel, 2018. *Introduction à la science du sol - Sol, végétation, environnement - 7ème édition*. Dunod. ISBN 978-2-10-077656-6.
- FAO, 2017. *Carbone organique du sol une richesse invisible*. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture. pp. 90.
- FARDEAU, Jean-Claude, 2015. *On soil fertility indicators*. Etude et Gestion des Sols. pp. 24.
- FRANCEAGRIMER, 2021a. *Lavande et lavandin*. 30 août 2021. Interview.
- FRANCEAGRIMER, 2021b. *Lavandes et lavandins*. [en ligne]. [Consulté le 20 août 2021]. Disponible : [https://www.franceagrimer.fr/fam/content/download/15451/document/Livret\\_lavande.pdf?version=1](https://www.franceagrimer.fr/fam/content/download/15451/document/Livret_lavande.pdf?version=1)

- KARIMI, B, 2020. *Revue scientifique sur la qualité biologique des sols de vignes et l'impact des pratiques viticoles*. Etude et Gestion des Sols. pp. 20.
- LABREUCHE, Jérôme, LAURENT, François et ROGER-ESTRADE, Jean, 2014. *Faut-il travailler le sol ? - Acquis et innovations pour une agriculture durable*. Editions Quae. ISBN 978-2-7592-2193-6.
- LACASSIN, Jean-Claude, 2021a. *L'érosion des sols du plateau de Valensole*. 11 juin 2021. Interview.
- LACASSIN, Jean-Claude, 2021b. *Les sols du plateau de Valensole*. 12 mai 2021. Interview.
- LAMACQUE, Lia, 2020. *Caractérisation physiologique de la réponse à la sécheresse de la Lavande et du Lavandin: impact de la culture inter-rang*. Biologie végétale. Université Clermont Auvergne. pp. 231.
- LE ROHELLEC, Catherine et MOUCHET, Chrisian, 2004. *Evaluation de l'efficacité économique d'exploitations laitières en agriculture durable: une comparaison aux références du Réseau d'Information Comptable Agricole (RICA)*. Colloque SFER, Société Française d'Economie Rurale (SFER). FRA., Nov 2004, Lille, France. pp. 18.
- MARSDEN, Claire, 2021. *Analyse du test slip*. 23 août 2021. Interview.
- MASSENET, JY, 2013. *Chapitre V: Chimie du sol - 5ème version* [en ligne]. 2013. [Consulté le 10 avril 2021]. Disponible via : <http://jymassenet-foret.fr/cours/pedologie/PEDO5.pdf>
- METEOFRANCE, 2020. Climat St Auban - relevés. *MétéoFrance* [en ligne]. [Consulté le 26 août 2021]. Disponible à l'adresse : <https://meteofrance.com/climat/relevés/france/provence-alpes-cote-d-azur/st%20auban>
- PARC NATUREL RÉGIONAL DU VERDON, en cours. *Analyse synthétique de l'évolution du territoire - Fiche 13 - Agriculture*. PNRV.
- PASQUIER, Lucie, s.d. *Guide du sol « Largile et Lamotte »*. ENESAD - Unité Informatique Pédagogique.
- PÉDRO, G et MOUNOLOU, JC, 2004. *Du sol à la plante : trajets et fonctions du fer* [en ligne]. Institut de France - Académie des Sciences. [Consulté le 20 juillet 2021]. Disponible à l'adresse : [https://www.academie-sciences.fr/archivage\\_site/activite/conf/interacad\\_081204.pdf](https://www.academie-sciences.fr/archivage_site/activite/conf/interacad_081204.pdf)
- PEIGNÉ, Josephine, 2018. *Les pratiques de l'agriculture de conservation : un levier d'amélioration de la fertilité des sols et d'innovation en agriculture biologique ?* ISARA Lyon, Unité Agroécologie et Environnement.
- REID, Walter V, MOONEY, Harold A, CROPPER, Angela, CAPISTRANO, Doris, CARPENTER, Stephen R, CHOPRA, Kanchan, DASGUPTA, Partha, DIETZ, Thomas, DURAIAPPAH, Anantha Kumar, HASSAN, Rashid, KASPERSON, Roger, LEEMANS, Rik, MAY, Robert M, ZAKRI, A H, SHIDONG, Zhao, ASH, Neville J, BENNETT, Elena, KUMAR, Pushpam, LEE, Marcus J, RAUDSEPP-HEARNE, Ciara, SIMONS, Henk, THONELL, Jillian et ZUREK, Monika B, 2005. *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Island Press, Washington, DC.
- ROMAN, Charles, 2021. *Le territoire du PRNV*. 17 août 2021. Interview.
- SALDUCCI, Xavier, 2014. *Les Matières Organiques ... l'énergie solaire des Sols !* Celesta-lab. Pp. 70.
- SCOPEL, Eric et DOUZET, Jean-Marie, 2005. *Interactions agriculture-environnement - Impacts des systèmes de culture en semis direct avec couverture végétale (SCV) sur la dynamique de l'eau*,

*de l'azote minéral et du carbone du sol dans les cerrados brésiliens. Cahiers Agricultures vol. 14, n° 1. pp. 5.*

VILLENAVE, Cécile, KLEIBER, Alain et SALDUCCI, Xavier, 2017. *Restitution des résultats de la première campagne d'échantillonnage des 34 parcelles du réseau. Réseau Sol REGAIN.*

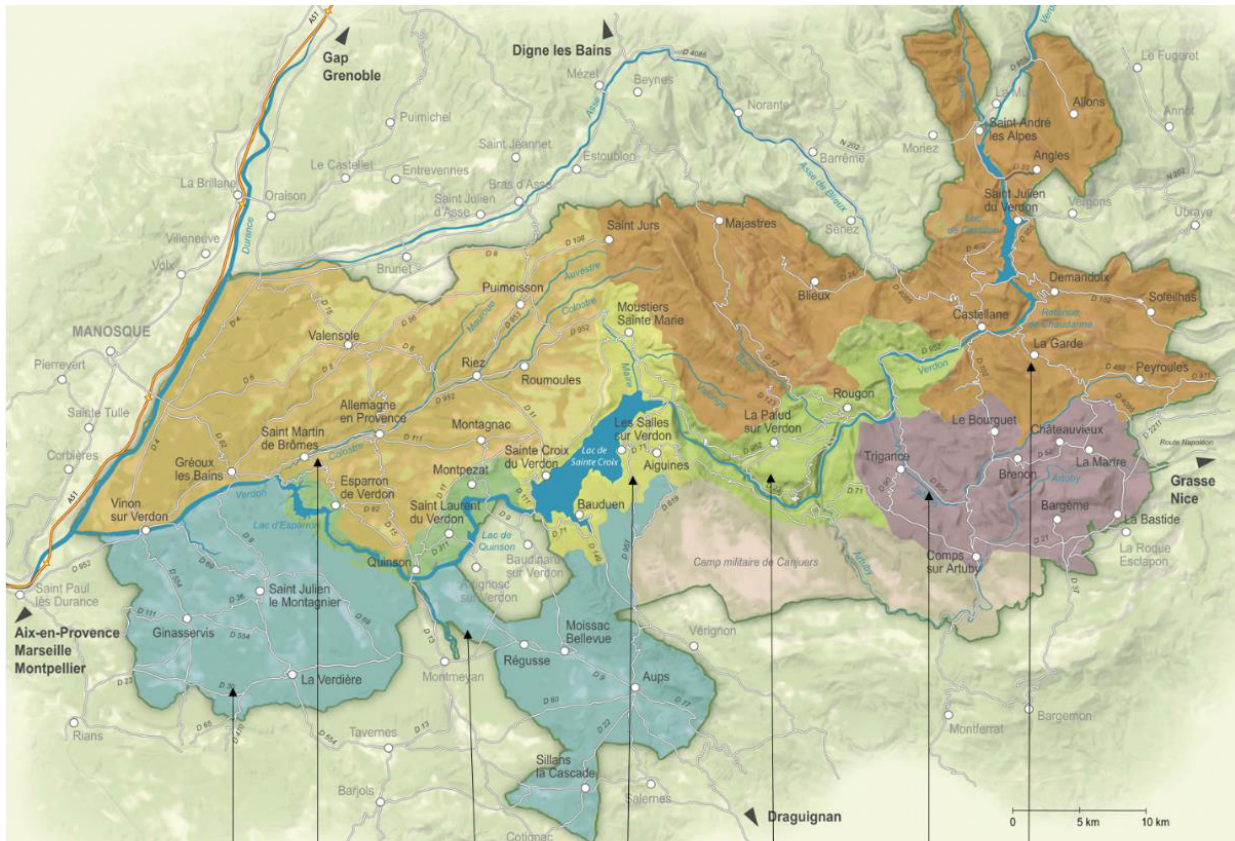
VILLENAVE, Dr Cécile, 2018. *La nématofaune, un bioindicateur pour évaluer le fonctionnement biologique des sols. ELISOL Environnement. pp. 17.*

WALTER, Christian, BISPO, Antonio, CHENU, Claire, LANGLAIS, Alexandra et SCHWARTZ, Christophe, 2015. *Les services écosystémiques des sols: du concept à sa valorisation. Cahiers Demeter. pp. 53-68.*

YVIN, Cédric, 2010. *Synthèse des recherches conduites depuis 1994 sur les dépérissements des lavandes et lavandins. Iteipmai. pp. 49.*

## Annexes

## Annexe 1 : Le contexte du plateau de Valensole



Les basses gorges : plus petite gorges creusées par le Verdon et jalonnées de lacs artificiels, de forêts de chênes verts et de petits villages perchés sur des collines.

Les collines du Haut Var : territoire d'alternance de forêts et de paysages agricoles bien connu pour son or noir – la truffe – et l'huile d'olive.

Les gorges du Verdon : paysage emblématique de la région où le Verdon a taillé des falaises de plus de 700 mètres de hauteur, appréciées pour la randonnée et l'escalade.

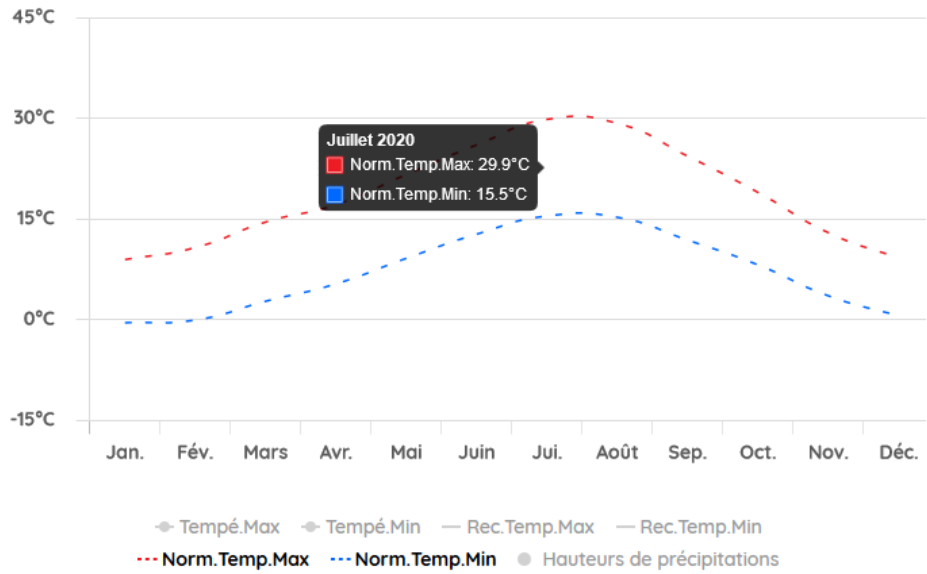
Les lacs et montagnes : trois grands massifs montagneux découpent ce territoire de pastoralisme et de village de la vallée du Verdon.

Le plateau de Valensole : territoire agricole, très plat mais creusé par des rivières comme l'Asse ou la Bléone.

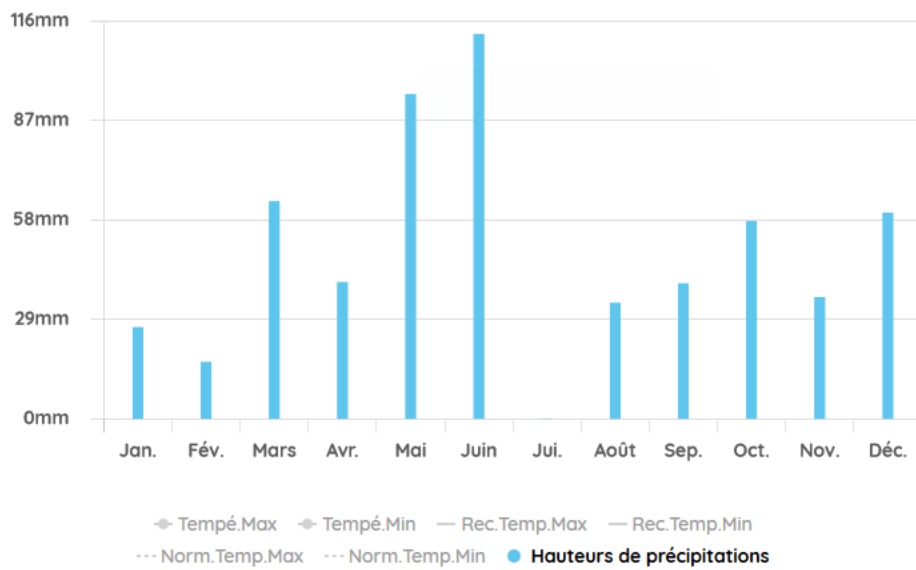
Le lac de Sainte-Croix : vaste lac artificiel de 2200 hectares, entouré de barrages et de villages typiques en pierres, très prisé pour les activités touristiques aquatiques (canoë, paddle, planche à voile...).

L'Artuby : territoire couvert à 60 % de forêts qui accueillent les activités de pastoralisme, de chasse, de cueillette et de sylviculture. Cette zone assez rocheuse est creusée par 2 rivières et se trouve à la limite du camp militaire de Canjuers.

**Carte du territoire du Parc naturel régional du Verdon, divisé en 7 unités paysagères. Source : Parc naturel régional du Verdon ; textes : Fontanel.**

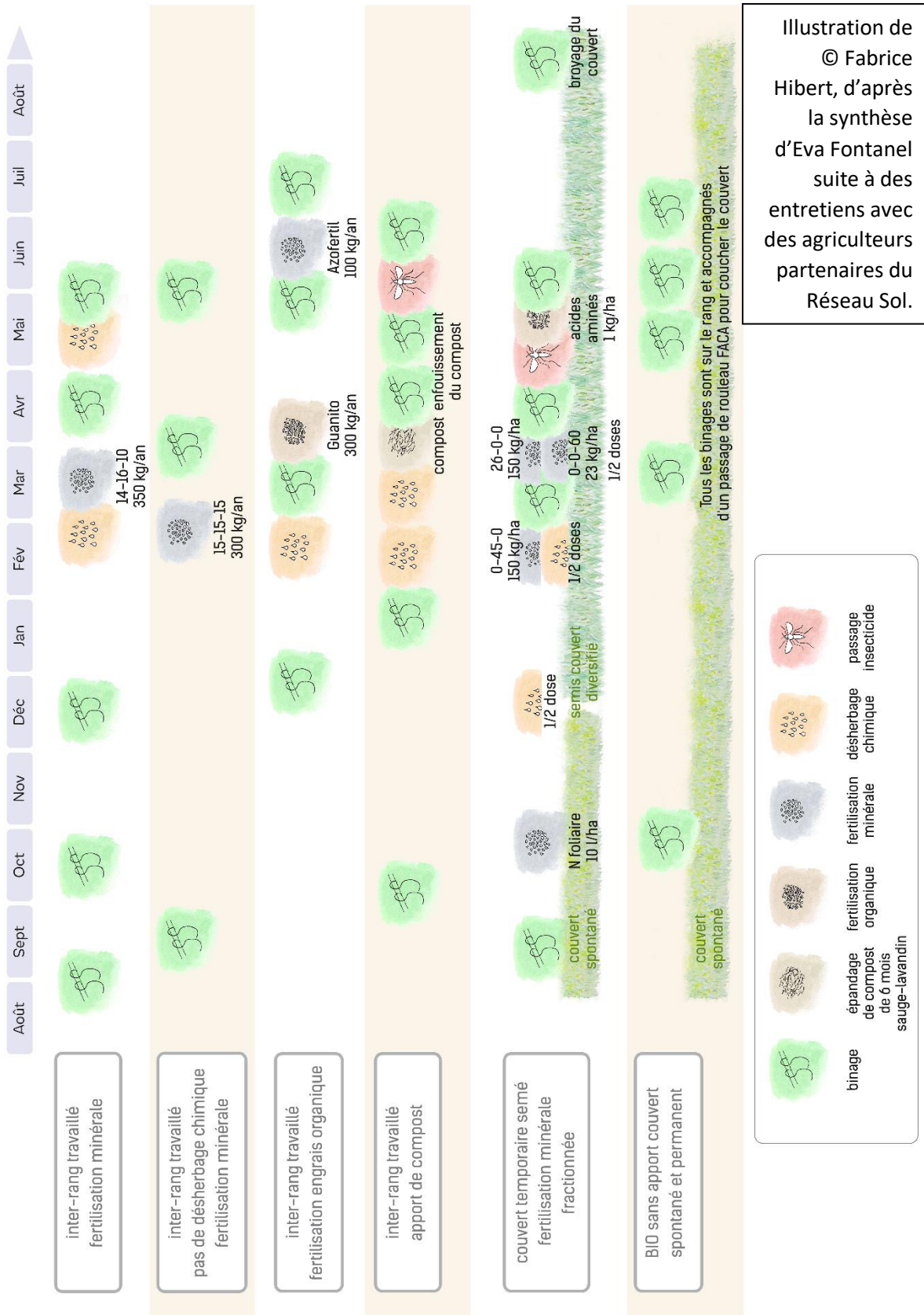


**Graphique des normales de températures sur la station de Saint Auban en 2020**, station la plus proche du plateau de Valensole. Source : MétéoFrance.



**Graphique des précipitations sur la station de Saint Auban en 2020**. Source : MétéoFrance.

## Annexe 2 : Exemples d'itinéraires techniques en lavandin sur des parcelles du Réseau Sol REGAIN





## Annexe 3 : Devis des illustrations commandées pour la réalisation du guide pédagogique.

Section	N°	nom figure	Type d'illustration	Tarif HT
<b>Page de garde</b>	1	Impact des pratiques agricoles sur le sol en lavandin	Illustration simple, réaliste	450
<b>Contexte</b>	2	Carte de la localisation du plateau dans le PNRV	Illustration simple	280
	3	Epi lavandin	Illustration simple	100
	4	Types de sols du plateau	Schéma complexe	250
	5	Itinéraire technique du lavandin (plantation)	schéma complexe	200
	6	Itinéraire technique en lavandin (mature)	schéma complexe	350
<b>Structure des sols</b>	7	Rôles de la vie des sols dans la structuration	Schéma simple + illustrations simples & réalistes	320
	8	Structures typiques des sols du plateau	Schéma complexe, réaliste	270
	9	Nutrition du lavandin	Schéma complexe, réaliste	210
<b>Chimie des sols</b>	10	Biodisponibilité de l'azote	Schéma complexe, réaliste	40
	11	Fixation bactérienne de l'azote	Schéma simple, réaliste	120
	12	Biodisponibilité du phosphore	Schéma complexe, réaliste	50
	13	Phosphore et calcaire	Schéma simple, réaliste	30
	14	Echanges CAH et solution du sol	Schéma simple, réaliste	60
	15	CAH en situation de sol calcaire	Schéma simple, réaliste	60
<b>Vie des sols</b>	16	Organismes vivants du sol	Illustrations réalistes	280
	17	Rôles de la vie des sols	schéma complexe	210
<b>Les tests à faire au champ</b>	18	Méthode du test bêche	Schéma simple, réaliste	260
	19	Méthode du test du boudin	Schéma simple	200
<b>Autres</b>	20	Loupe sur un livre	Illustration simple	15
	21	Bulle de discussion	Illustration simple	15
	22-30	8 portraits personne	Illustration simple	520

<b>Total HT en €</b>	<b>4290</b>
<b>TVA</b>	<b>0</b>
<b>Total TTC en €</b>	<b>4290</b>
<b>+1,1%</b>	<b>4337,19</b>

Source : Fontanel

## Annexe 4 : Détail des variables choisies et classes créées pour analyser l'impact des pratiques agricoles sur les indicateurs de fertilité des sols

H1 : La diversification de l'assolement, et plus largement, les pratiques raisonnées employées en précédent lavandin améliorent la fertilité des sols (détaillé en 2.2.3.1.)

Variable	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4
Précédent cultural de 2012 à 2017	Dominance blé/céréales	Alternance pois/oléagineux/blé	Alternance pois/oléagineux/blé	Dominance cultures pérennes
L'IFT total cumulé de 2012 à 2017	Nul	1 < IFT < 10	10 < IFT	
Mode de désherbage juste après la plantation	Absent	Chimique	Mécanique	Mixte (chimique et mécanique)
Nombre de labours entre 2011 et 2016	< 4	> 4		
Apports de MO entre 2015 et 2017	Oui	Non		
Délai de retour du lavandin	< 6 ans	> 6 ans		
Sous-solage avant la plantation du lavandin	Oui	Non		

H2 : La fertilisation organique favorise la vie du sol et améliore les stocks de matière organique (détaillé en 2.2.3.2.)

- L'apport ou non de matières organiques

Variable	Classe 1	Classe 2
Apport* de matière organique entre 2015 et 2019	Absence d'apports	Apport de MO au moins une fois

\*Les apports organiques peuvent être sous forme d'engrais industriel, de compost, de boues ou de restitution de couvert.

H3 : La couverture végétale protège le sol, favorise la vie du sol et diminue le dépérissement des plantes (détaillé en 2.2.3.3.)

- Travail du sol et herbe

Variable	Classe 1	Classe 2
Emploi de produits phytosanitaires entre 2017 et 2019	Oui	Non
Application d'engrais azoté minéraux (uN) entre 2017 et 2019	Oui	Non
Enherbement de l'inter-rang, au moins les premières années de plantation	Oui	Non
Nombre de binages à plein entre 2017 et 2019	< 8	> 8

- Herbe et MO

Variable	Classe 1	Classe 2
Apport* de matière organique entre 2015 et 2019	Absence d'apports	Apport de MO au moins une fois
Enherbement de l'inter-rang, au moins les premières années de plantation	Oui	Non

*\*Les apports organiques peuvent être sous forme d'engrais industriel, de compost, de boues ou de restitution de couvert.*

H4 : Le non emploi d'intrants chimiques permet une efficacité économique correcte tout en améliorant la vie du sol (détaillé en 2.2.3.4.)

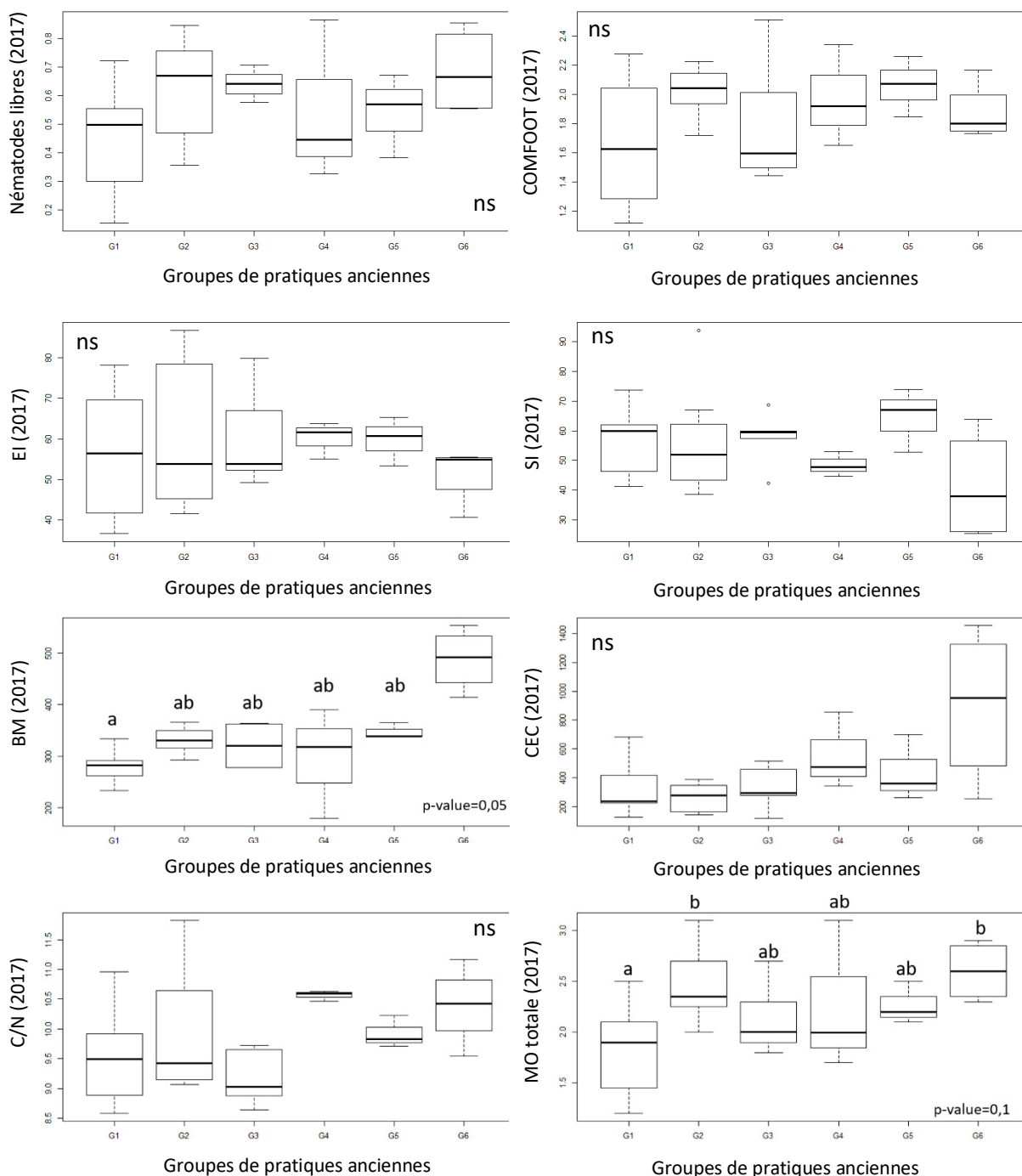
Variable	Classe 1	Classe 2	Classe 3
IFT total entre 2015 et 2019	IFT = 0	0 < IFT ≤ 5	IFT > 5

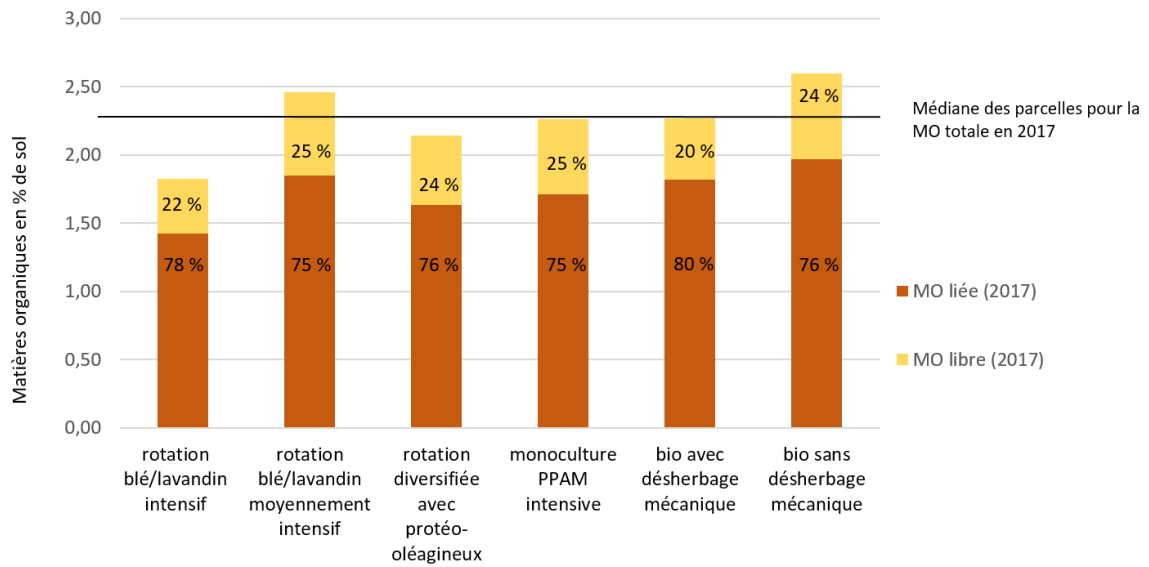
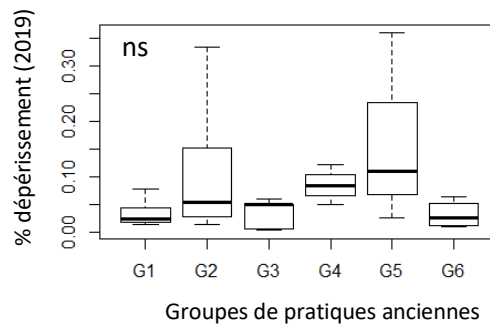
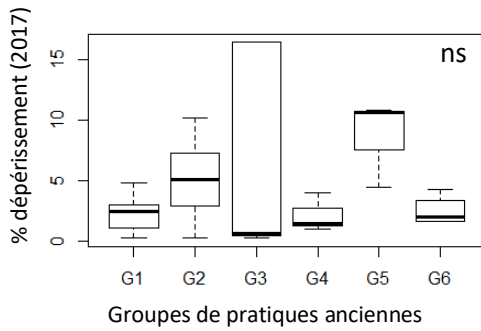
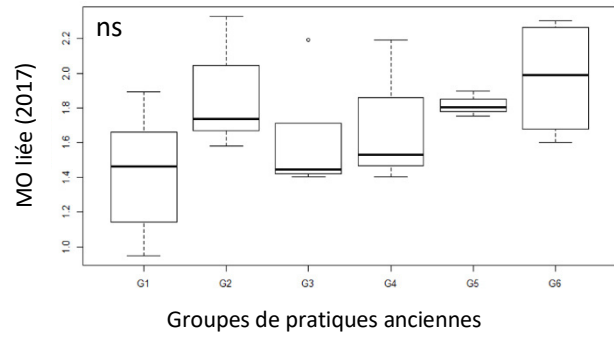
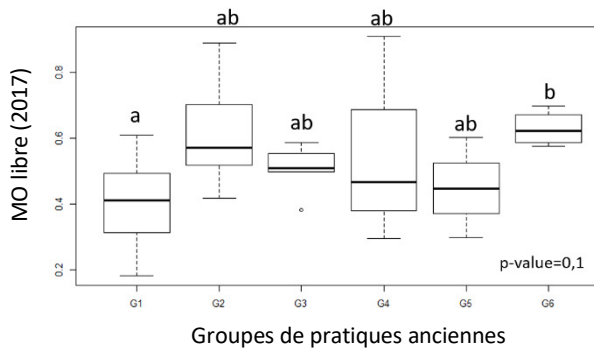
## Annexe 5 : Modalités observables pour le test du slip

Expérimentation	Modalité 1	Modalité 2
1 : enherbement en début de culture	Modalité REGAIN : témoin, pas d'enherbement	Modalité REGAIN : enherbement semé – triticale – les 2 premières années de culture
2 : enherbement en début de culture puis spontané	Modalité REGAIN : témoin, pas d'enherbement	Modalité REGAIN : enherbement semé – ers – permanent, non détruit (spontané aujourd'hui)
3 : fertilisation minérale et organique	Parcelle REGAIN : apports de MO réguliers, fertilisation organique uniquement (guanito) en 2021	Parcelle REGAIN : apports de MO réguliers ; nouvelle modalité : fertilisation minérale uniquement (ammonitrate) en 2021
4 : apports de compost récent et ancien	Parcelle REGAIN : apports de compost réguliers depuis 2017 ; pas d'apport en 2021	Parcelle REGAIN : pas d'apports de compost depuis 2017 ; apport en 2021
5 : apports de compost	Parcelle REGAIN : Apports récents	Parcelle REGAIN : nouvelle modalité : pas d'apports
6 : type de sol	Parcelle REGAIN : argiles blanches, sol caillouteux, « mauvais sol » selon l'agriculteur	Parcelle REGAIN : argiles rouges, caillouteux mais le « sol est meilleur » selon l'agriculteur
7 : type de sol	Parcelle REGAIN : sol de vallon, argiles blanches	Parcelle REGAIN : sol de plateau, argiles rouges
8 : culture	Parcelle REGAIN, en lavandin conventionnel	Nouvelle parcelle de semis direct : blé 2018 – coriandre 2019 – blé 2020 – pois chiches 2021
9 : précédent cultural	Parcelle REGAIN : précédent blé dur	Parcelle REGAIN : précédent lavandin depuis 2012
10 : 2 conduites en lavandin	Parcelle REGAIN : conduite classique, lavandin planté en 2017	Nouvelle parcelle : lavandin planté en 2019 juste après un couvert de moutarde
11 : irrigation et précédent cultural	Parcelle REGAIN : Irrigation ; Prédécent blé dur/ fenouil/betterave semée	Parcelle REGAIN : pas d'irrigation ; Prédécent blé dur/tendre/tournesol

## Annexe 6 : Effet de la diversification de l'assolement et les pratiques anciennes sur les indicateurs de fertilité des sols

*Groupes de pratiques : G1 : rotation blé/lavandin intensif ; G2 : rotation blé/lavandin moyennement intensif ; G3 : rotation diversifiée avec des protéo-oléagineux ; G4 : monoculture de PPAM intensive ; G5 : Bio avec désherbage mécanique ; G6 : bio sans désherbage mécanique.*

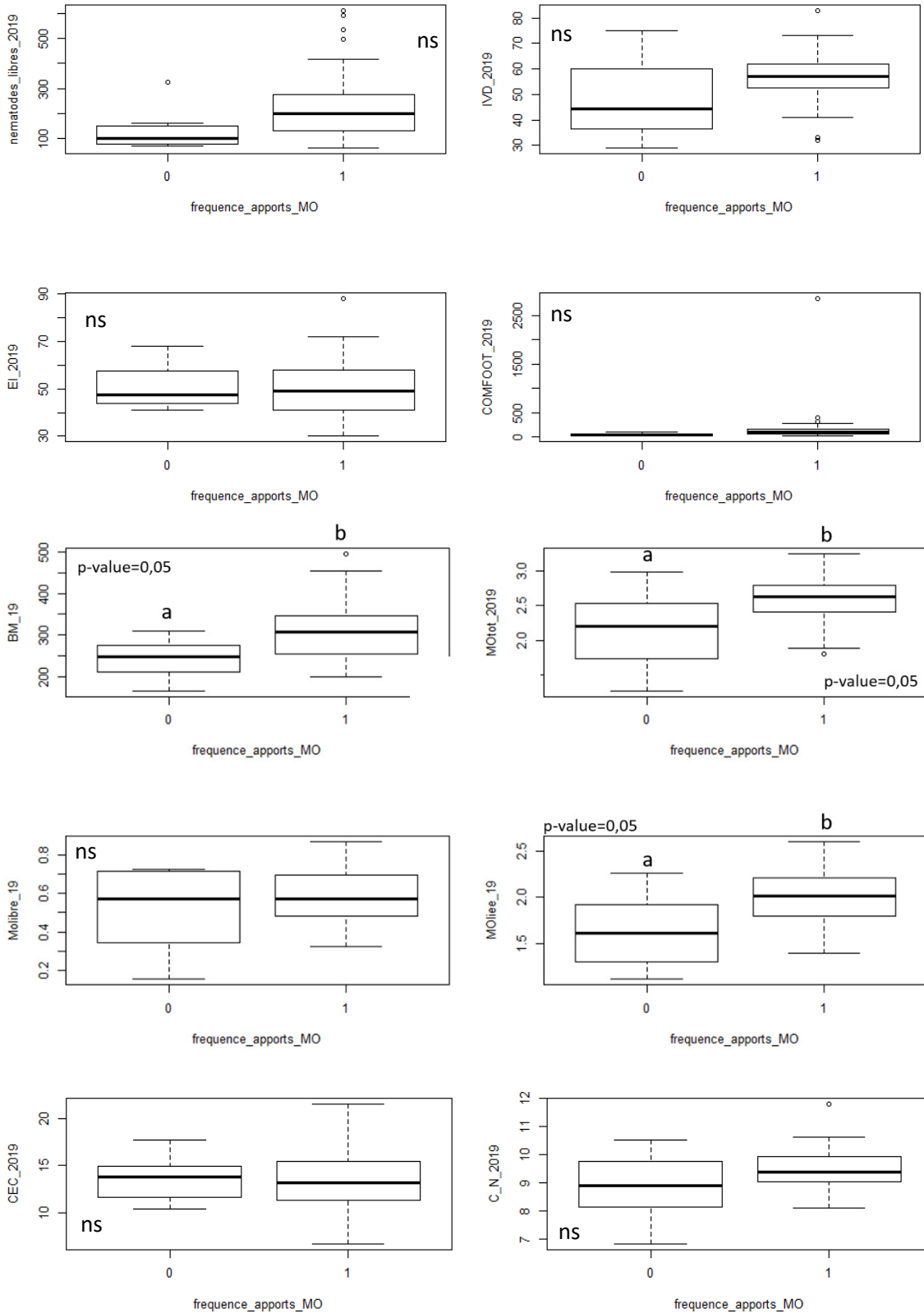




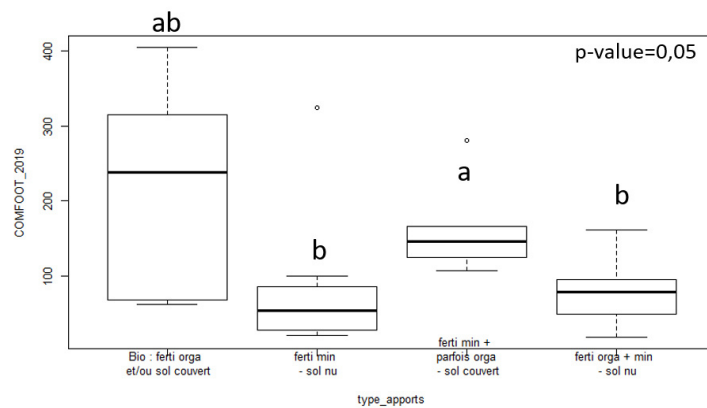
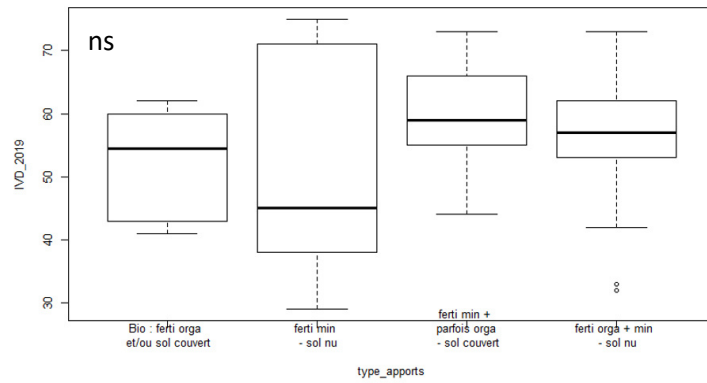
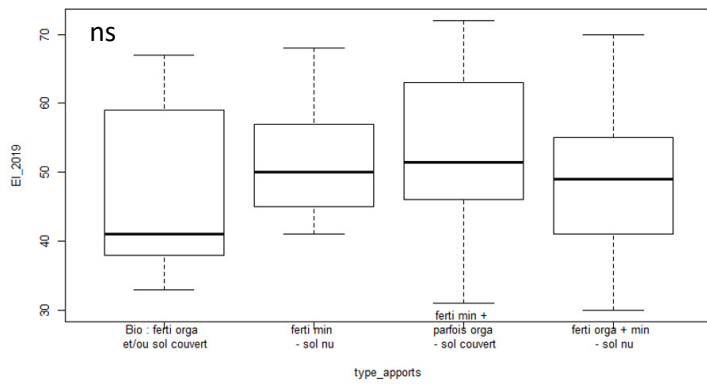
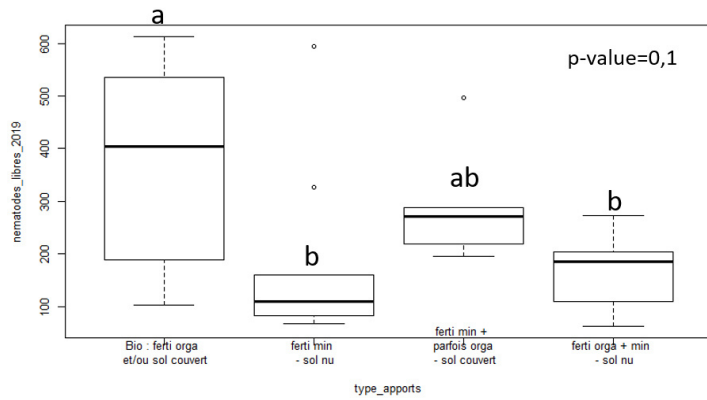
## Annexe 7 : Observer les types de fertilisation du lavandin – apports de MO ou non

frequence\_apports\_MO : 0 = pas d'apports depuis 2016 ; 1 = au moins un apport depuis 2016

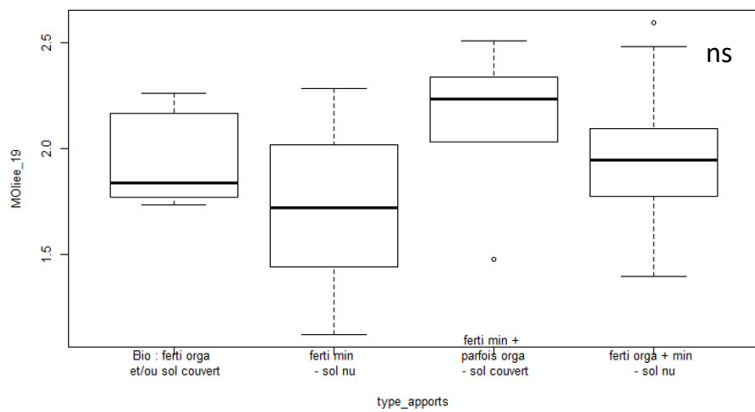
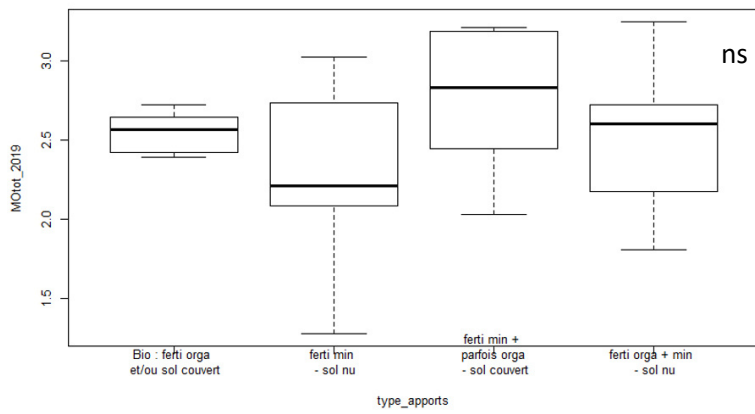
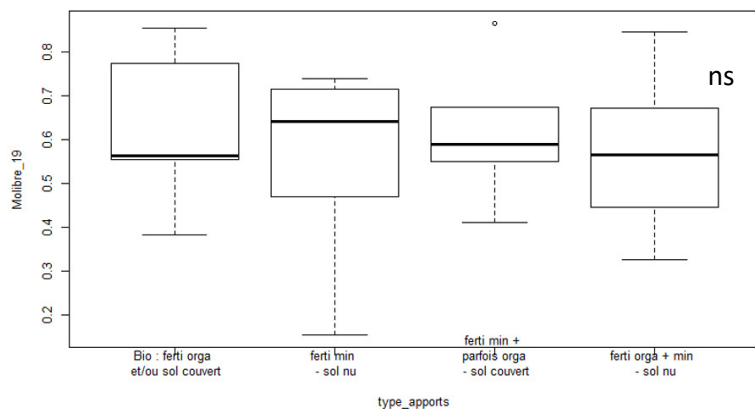
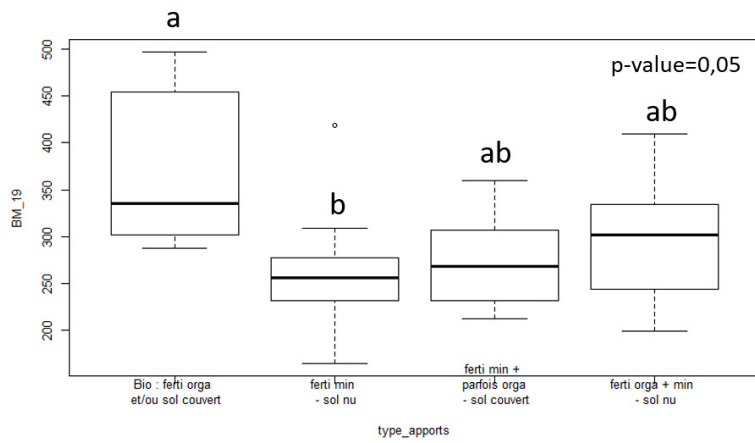
MO peut être apportée sous forme de : engrais industriel, compost, boues, restitution de couvert

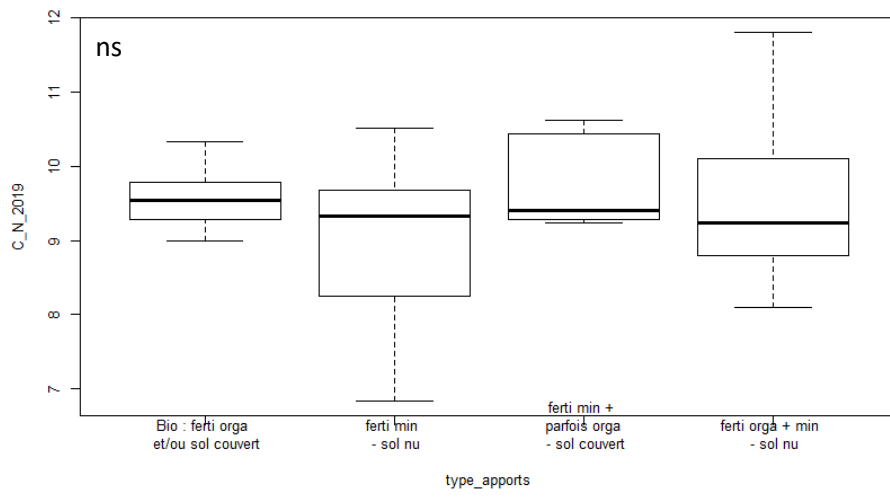
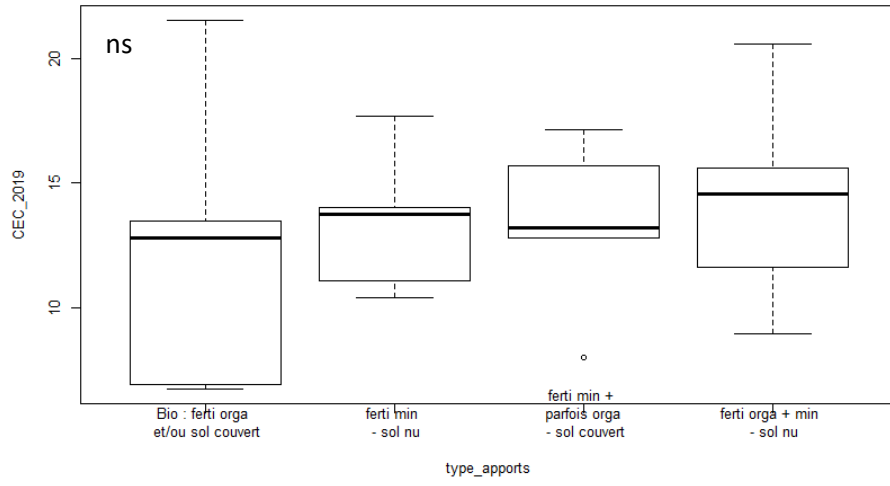


## Annexe 8 : Effet des types de fertilisation du lavandin – type de fertilisation (minérale ou organique) & couverture du sol

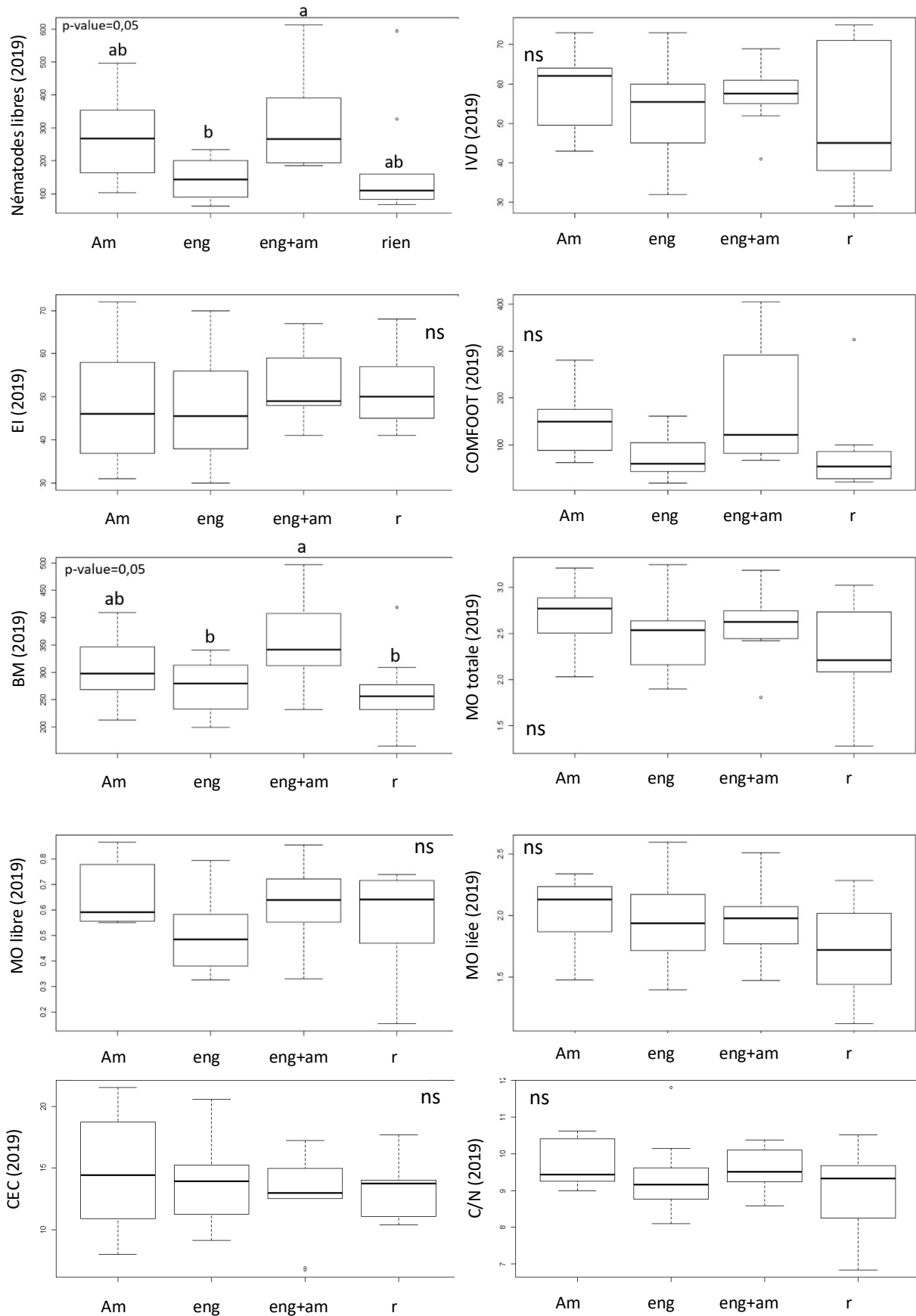




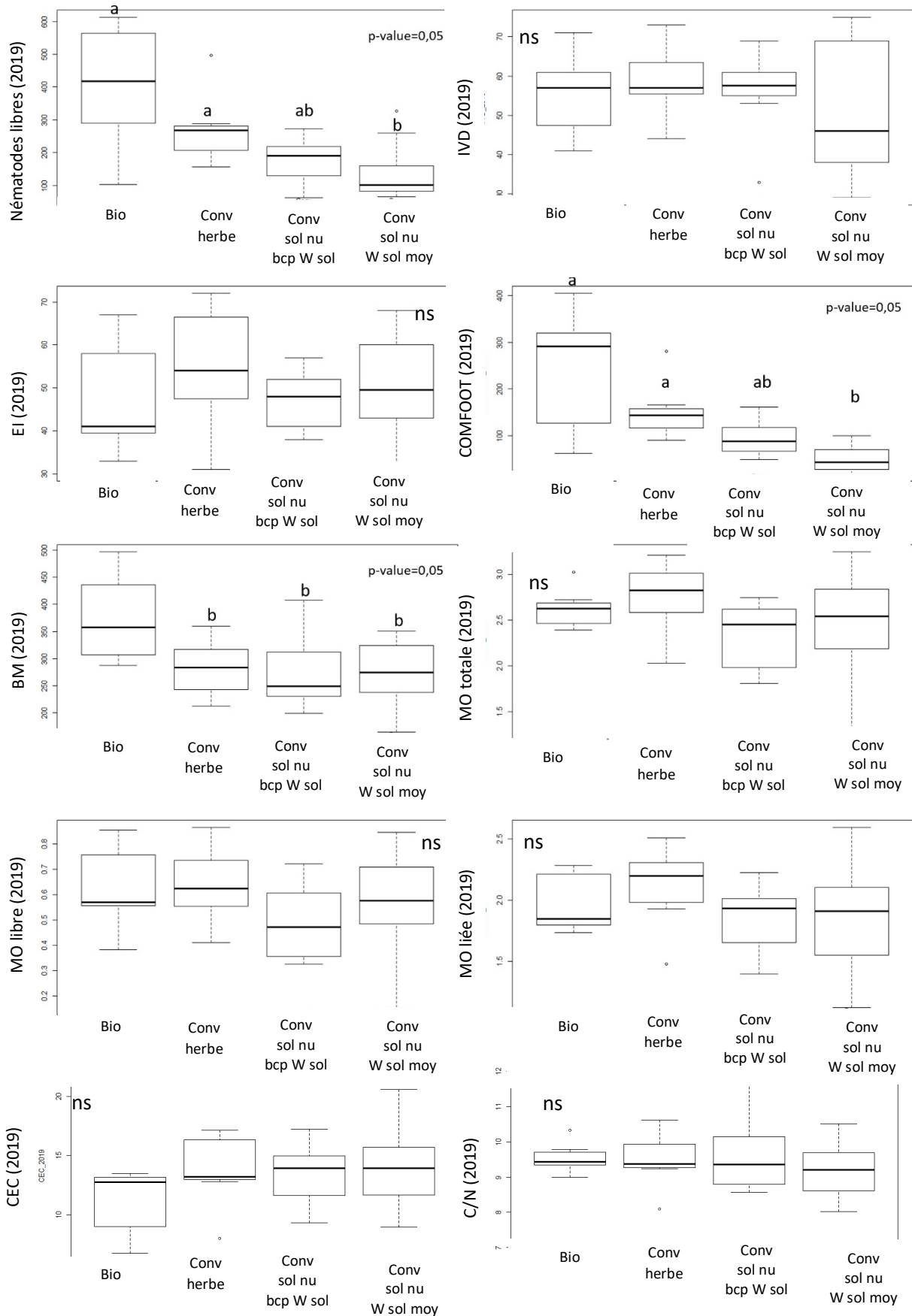




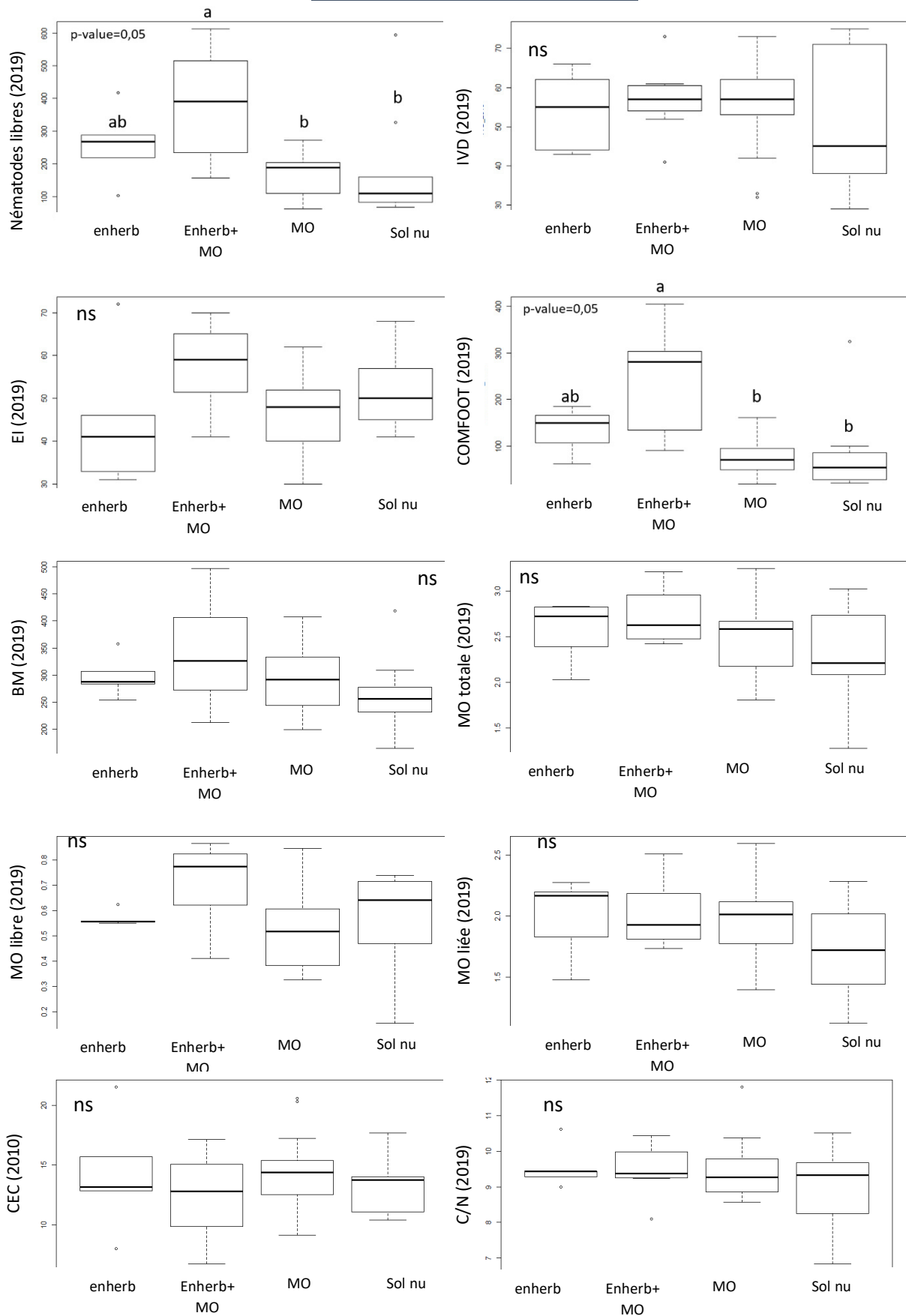
## Annexe 9 : Effet des types de fertilisation du lavandin – type de fertilisation (engrais, amendement, mixte)

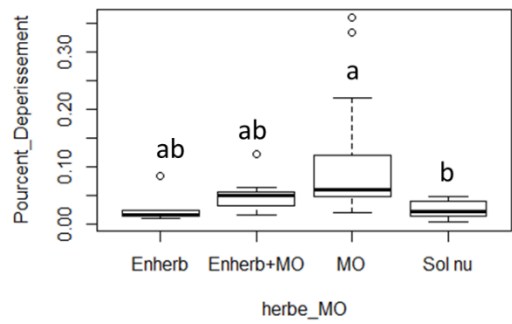


## Annexe 10 : Effet de la conduite (bio ou conventionnelle), du travail du sol et de l'enherbement

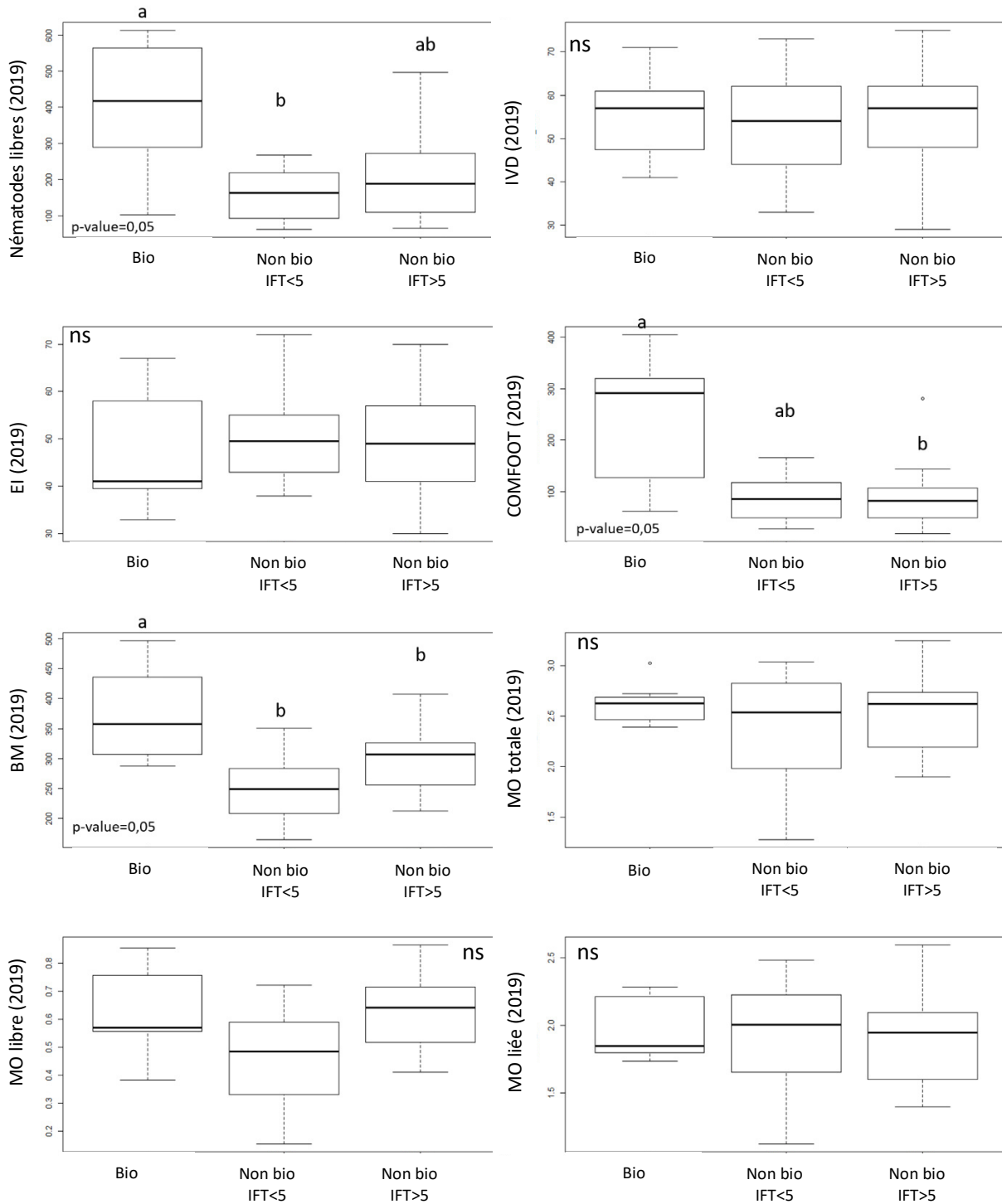


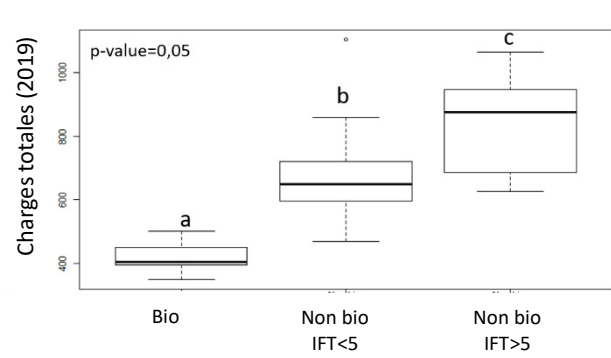
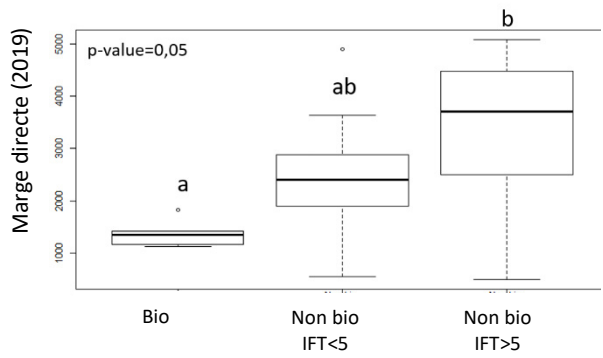
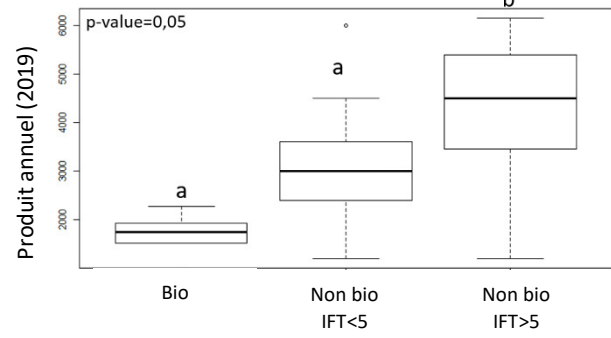
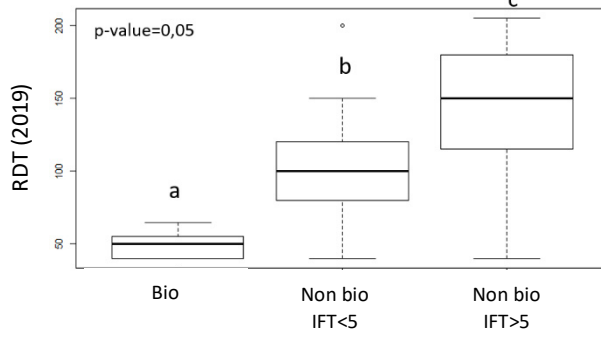
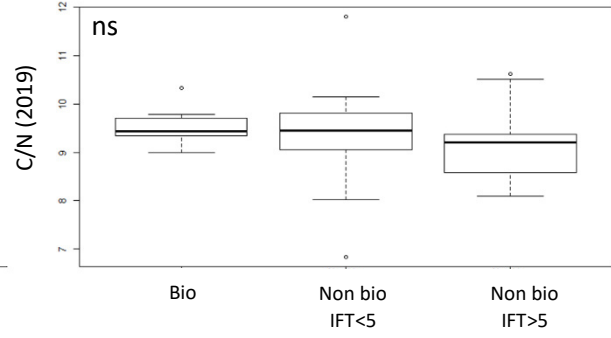
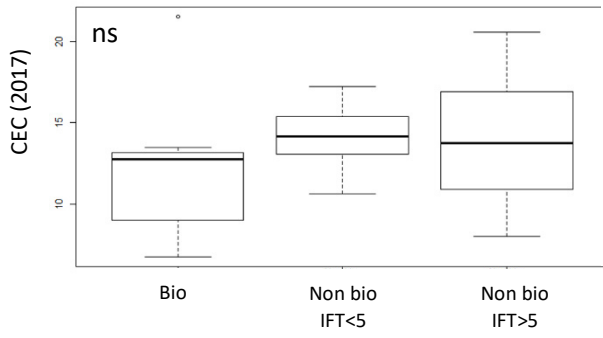
## Annexe 11 : Effet de la combinaison fertilisation organique et enherbement du lavandin





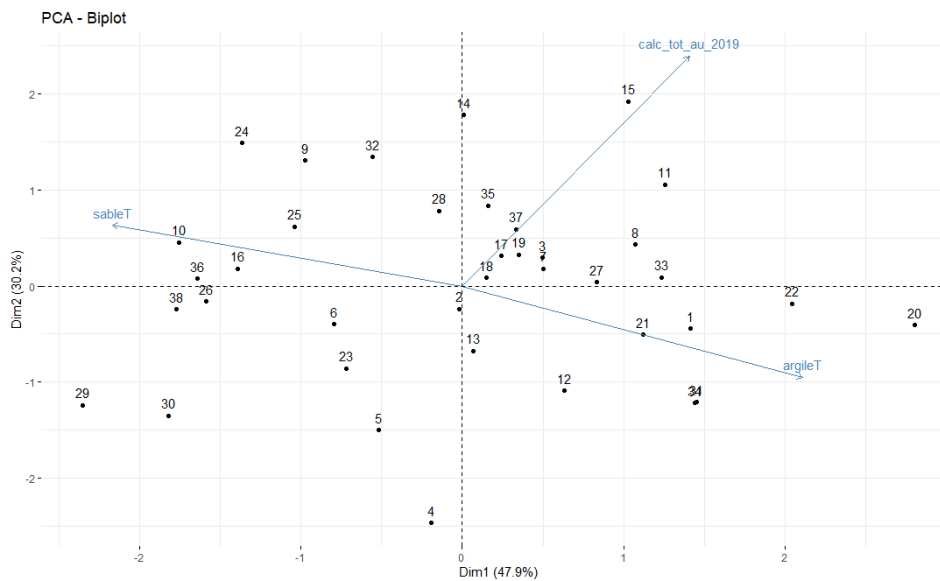
## Annexe 12 : Effet de la conduite sans intrants chimiques sur les indicateurs économiques et de fertilité des sols



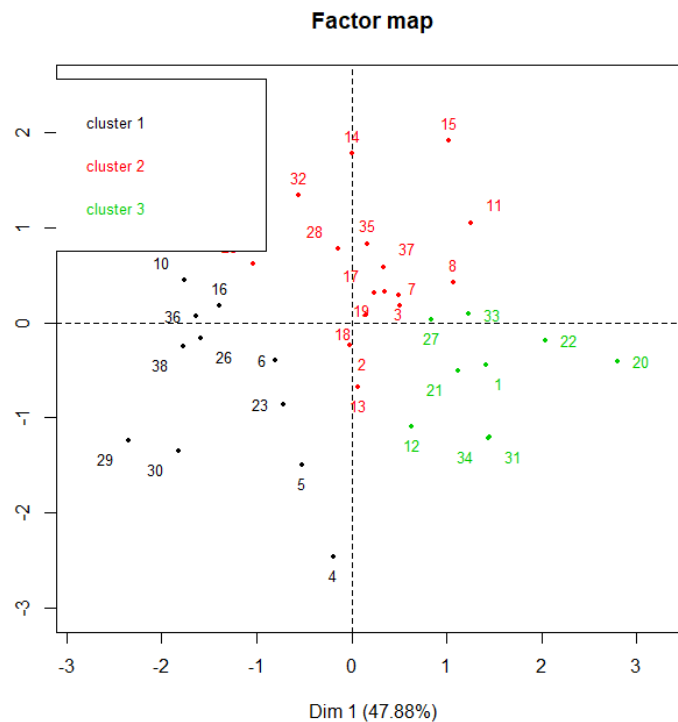




## Annexe 13 : ACP et classification hiérarchique pour la création de groupes de type de sol



**Projection des parcelles et des variables prises en compte pour la classification hiérarchique selon les deux premiers axes de l'ACP. Le nuage de points représente les parcelles.**



**Graphique des parcelles sur les deux premiers axes de l'ACP, les couleurs représentent les 3 clusters (groupes) créés par la classification hiérarchique (HCPC).**

Link between the cluster variable and the quantitative variables

```
=====
                Eta2      P-value
calc_tot_au_2019 0.5930713 1.467472e-07
argileT          0.4767232 1.196194e-05
sableT           0.3923312 1.637462e-04
```

Description of each cluster by quantitative variables

```
=====
`1`
      v.test Mean in category Overall mean sd in category Overall sd
sableT 3.099916      18.41789      14.99132      3.718736      4.291667
calc_tot_au_2019 -4.515112      21.06364      40.07105      11.485981      16.344433
      p.value
sableT 1.935759e-03
calc_tot_au_2019 6.328321e-06

`2`
      v.test Mean in category Overall mean sd in category Overall sd
calc_tot_au_2019 3.72719      50.62778      40.07105      10.5206      16.34443
      p.value
calc_tot_au_2019 0.0001936268

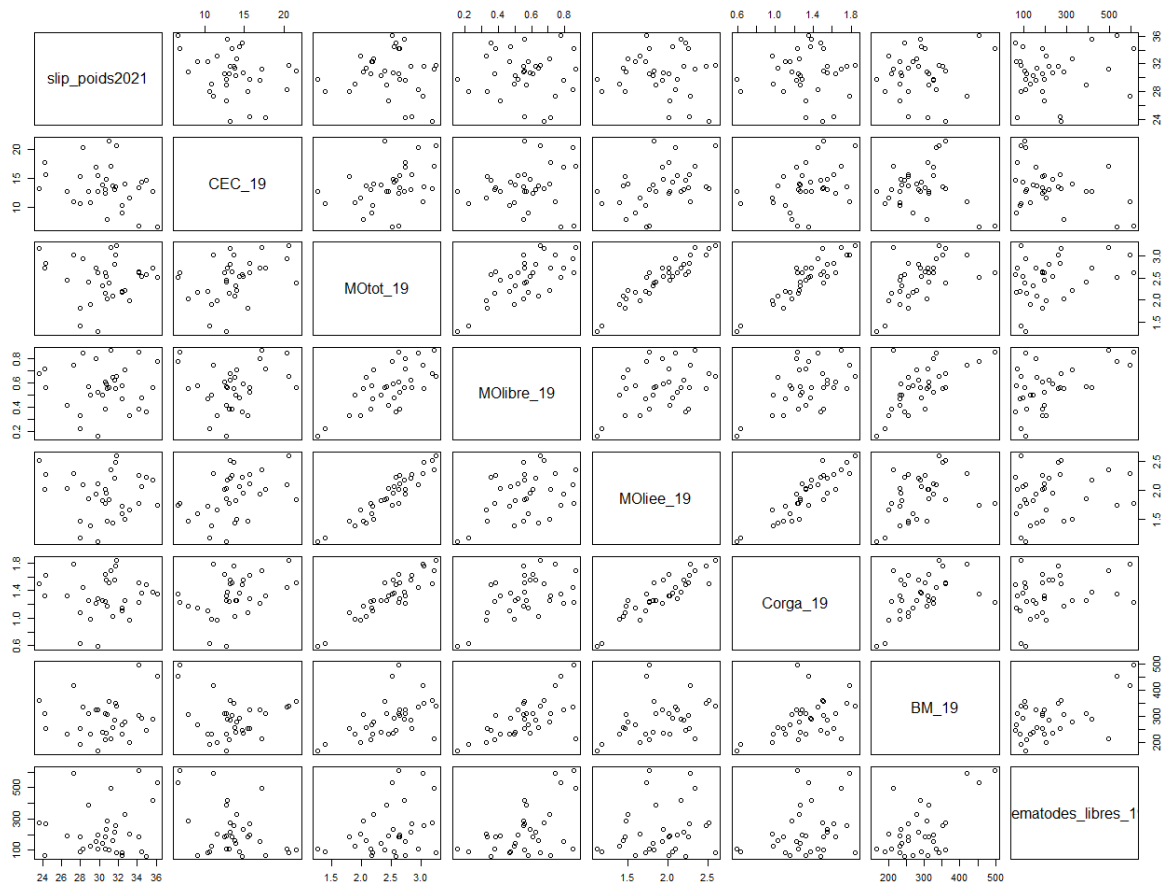
`3`
      v.test Mean in category Overall mean sd in category overall sd
argileT 4.174412      48.03123      40.77582      3.301741      5.889658
sableT -3.172624      10.97321      14.99132      1.837729      4.291667
      p.value
argileT 2.987572e-05
sableT 1.510679e-03
> |
```

Résultats de la classification hierarchique (HCPC) pour la création des types de sol.

Tableau de description des 3 clusters créés par l'HCPC :

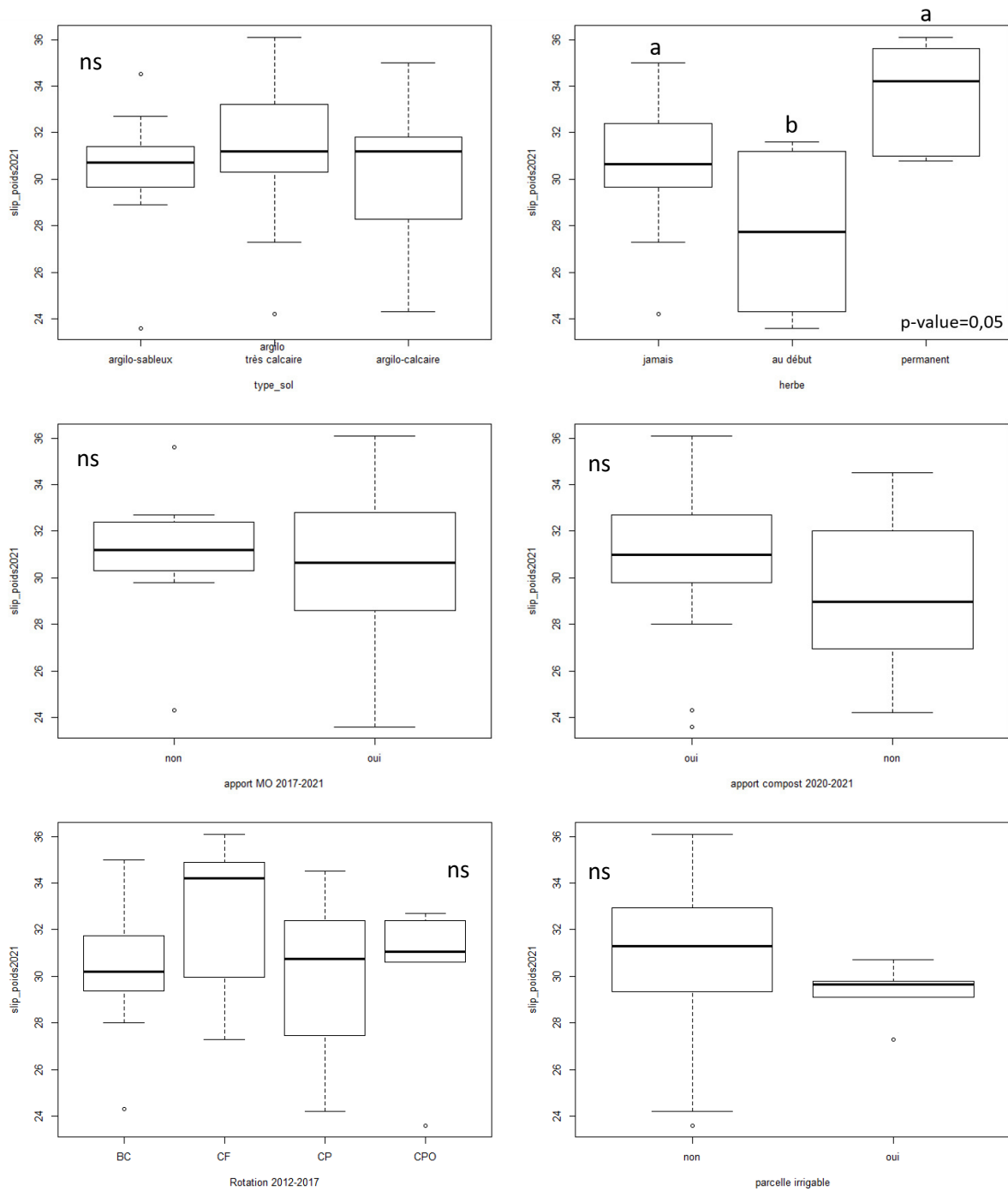
Type de sol	Moy_pH	Moy_argileDécarbo	Moy_sableDécarbo	Moy_calc_tot
argilo-sableux	8,33	37,87	18,42	21,06
argilo très calcaire	8,32	38,92	14,91	50,63
argilo-calcaire	8,30	48,03	10,97	42,19
<b>Total général</b>	<b>8,32</b>	<b>40,78</b>	<b>14,99</b>	<b>40,07</b>

## Annexe 14 : Corrélations entre la variable du poids du slip et les autres indicateurs d'intérêt

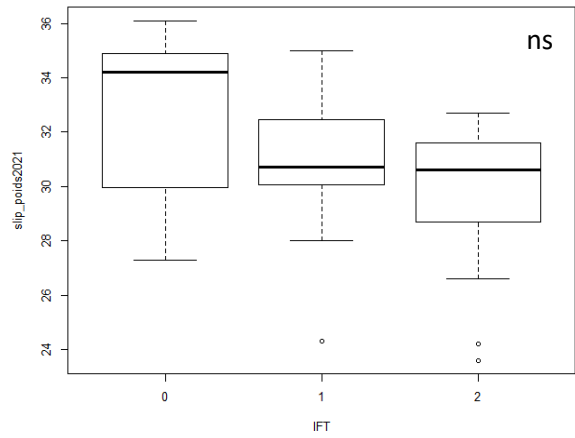
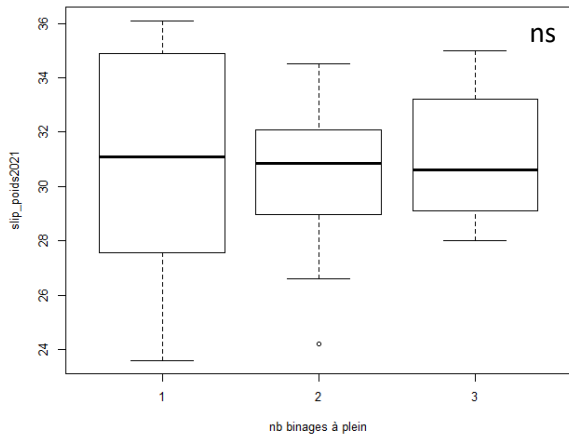


**Matrice des corrélations de plusieurs indicateurs de sol.**

## Annexe 15 : Analyse statistique du poids du slip selon les pratiques d'intérêt

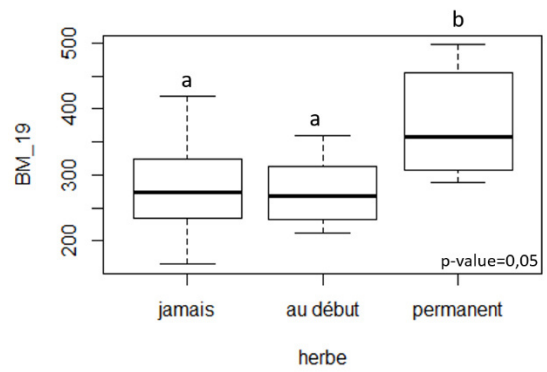
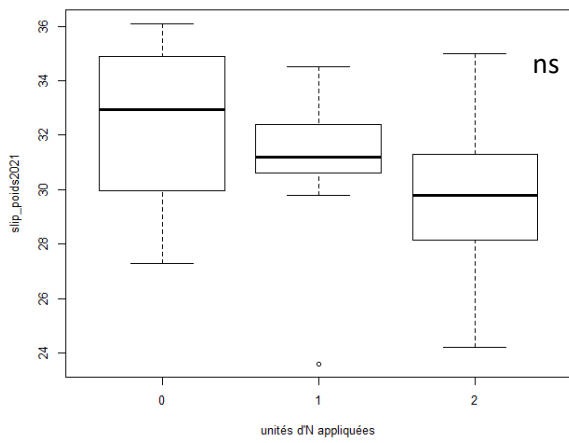


Rotation 2012-2017 : BC = blé/céréales ; CF = contenant au moins une culture fourragère ; CP = culture pérenne ; céréale/protéo-oléagineux

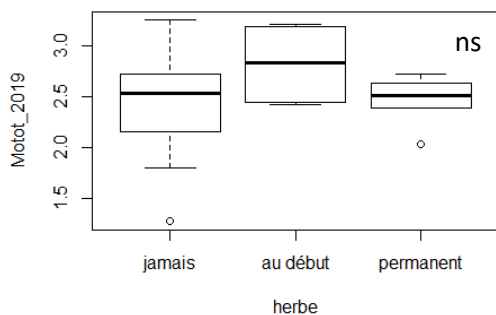
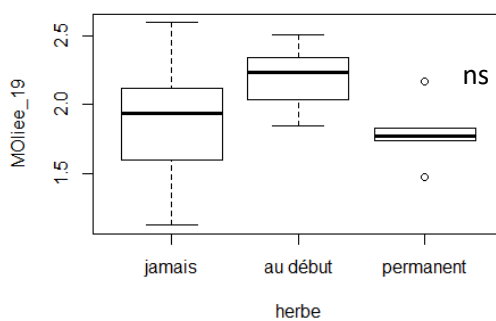
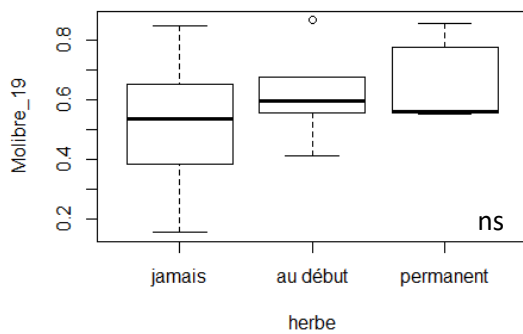


Nb binages à plein entre 2016 et 2019 : 1 = moins de 7 binages ; 2 = entre 7 et 9 binages ; 3 = plus de 9 binages

IFT entre 2016 et 2019 : 0 = pas de phytos ; 1 = IFT < 5 ; IFT > 5



Unités d’N appliquées entre 2016 et 2019 : 0 = pas d’N apporté ; 1 = uN < 50 ; 2 = uN > 50



Annexe 16 : Sommaire du guide pédagogique réalisé et extrait d'un  
témoignage

# SOMMAIRE

## PRÉAMBULE

- 1 Édito
- 2 Introduction
- 3 La démarche REGAIN en bref

## CONTEXTE

- 4 Le plateau de Valensole, un territoire agricole à enjeux
- 6 La préservation de l'eau et de la biodiversité
- 8 Les sols du plateau
- 10 Une diversité d'itinéraires techniques sur le plateau

## COMMENT UTILISER CE GUIDE ?

Ce guide est composé d'un livret et d'un ensemble de fiches techniques. Le livret vous présente le contexte agricole du plateau de Valensole, les caractéristiques de ses sols, et synthétise l'ensemble des résultats du projet REGAIN. Les 5 fiches techniques vous proposent plusieurs tests à réaliser au champ pour mieux connaître vos sols.

## PROPRIÉTÉS DES SOLS

- 12 **Texture et structure du sol**
  - Qu'est-ce que la texture ?
  - Qu'est-ce qu'une bonne structure de sol ?
  - Comment améliorer mon sol ?
  - Pourquoi parle-t-on de matièreS organiqueS ?

- 14 **Nutrition des plantes**
  - La biodisponibilité de l'azote
  - La biodisponibilité du phosphore
  - Le pH du sol & le complexe argilo-humique
  - Les sols du plateau : des sols calcaires, à faibles capacités de fixation

- 16 **Rôles de la vie du sol**
  - Les organismes du sol et leurs actions

## RÉSULTATS D'ANALYSES

- Influence des pratiques avant la plantation du lavandin
- Effet du type de fertilisation
- Différentes techniques pour gérer l'inter-rang
- Allier rentabilité et préservation de la vie des sols
- Un meilleur sol pour une culture de lavandin résiliente face à la sécheresse

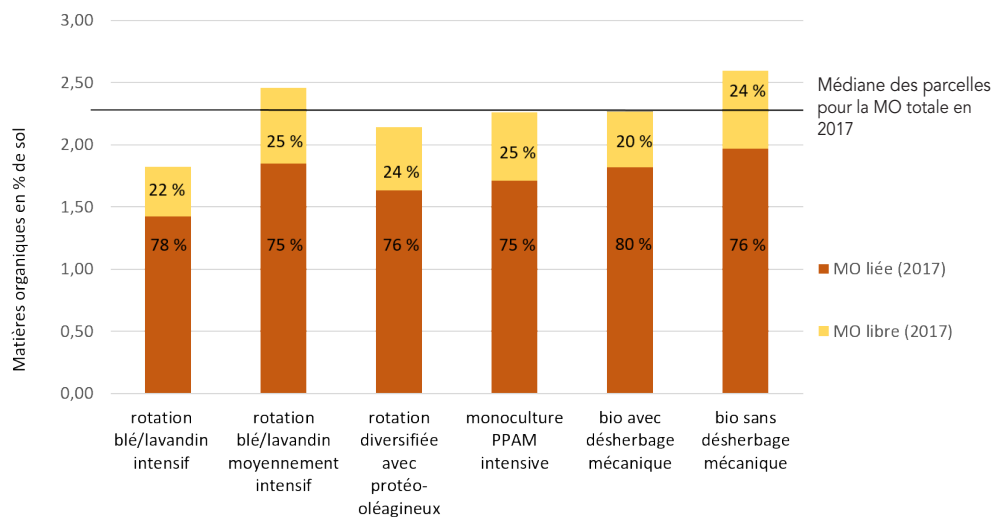
## FICHES TECHNIQUES

- **Test bêche** : observer la structure de mon sol
- **Test du boudin** : connaître la texture de mon sol
- **Slake test** : tester la stabilité structurale de mon sol
- **Test du slip** : évaluer l'activité biologique de mon sol
- **Plantes bio-indicatrices** : ce qu'elles me disent sur mon sol

## ET SUR LES TAUX DE MO

Les parcelles conduites en bio sans travail du sol et celles ayant reçu une rotation blé/lavandin moyennement intensive possèdent les meilleurs taux de MO totale. Cette augmentation concerne la MO liée et la MO libre, il n'y a donc pas de déséquilibre entre les deux fractions de MO du sol.

Au contraire, les parcelles ayant eu une rotation blé/lavandin intensive possèdent une quantité de MO totale critique, et plus particulièrement de MO liée, c'est-à-dire que le stock d'humus est déficitaire sur ces parcelles.

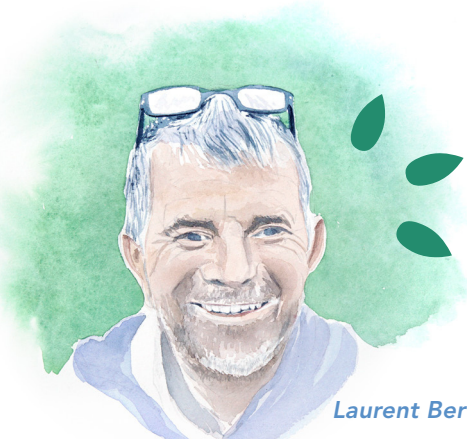


Les taux de matières organiques selon les pratiques précédant la plantation du lavandin. On voit dans les bâtons la proportion de MO liée et de MO libre qui composent la MO totale.

**La succession intensive de lavandin et de blé dur défavorise le développement de la vie du sol et le stockage de MO dans le sol.**

Le ratio optimal pour la matière organique d'un sol est d'environ 80 % de MO liée, qui est stable, et 20 % de MO libre qui va nourrir directement la vie du sol puis la plante.

Illustration : ©Fabrice Hibert



Laurent Berne

Au départ, je faisais blé sur blé et lavandin, et parfois du pois mais les sangliers détruisaient les semis. Il y a 10 ans, j'ai décidé de remédier à l'instabilité des marchés du lavandin et du blé dur en diversifiant mes cultures avec par exemple du colza. J'ai essayé pendant 5 ans mais je n'ai jamais réussi à avoir de bons rendements à cause du manque d'eau à la levée. J'ai aussi testé la lentille qui a très bien fonctionné la première année et j'ai beaucoup aimé cette culture. Le gel et la sécheresse ont compliqué la culture de la lentille ces dernières années, mais je continue par plaisir et parce que je trouve que c'est une bonne espèce dans l'assolement.

### Des engrais verts pour enrichir mes sols

En parallèle, pour remédier à l'appauvrissement de mes terres, j'ai commencé à faire des engrais verts avec de la moutarde et de la phacélie, et à produire mes propres semences. Je trouve que lorsque le couvert est bien implanté, la culture qui suit est plus belle, le rendement augmente et les sols s'enrichissent en MO. En général, je récolte la semence du couvert, j'utilise un déchaumeur pour couper les pailles/tiges, puis je sème avec un petit semoir à disques de 3 mètres - qui fonctionne pour les engrais verts et les cultures - et je laboure pour enfouir la matière.

## COMMENT GÉRER MES ROTATIONS DE MANIÈRE RÉSILIENTE ?

- Privilégier des rotations longues et diversifiées, contenant des légumineuses et des plantes à systèmes racinaires diversifiés
- Il est conseillé de limiter le labour, particulièrement celui à plus de 20 cm pour améliorer le stock de MO dans le sol.

### Les freins aux engrais verts

Un des seuls freins que j'ai à implanter un couvert - en août - c'est qu'il a besoin d'eau pour se développer. Et s'il n'y a pas ou peu de pluies de fin d'été, le couvert ne pousse pas. Une des alternatives que je suis en train de tester, c'est de décaler mes semis à l'automne et de choisir des plantes qui résistent à l'hiver et qui se développent au printemps. J'ai par exemple essayé la vesce velue cette année en récoltant plus d'1 t/ha de semence. Je pense semer la vesce en la mélangeant peut-être avec une moutarde (si la moutarde résiste à l'hiver).

### « Ne pas mettre tous les œufs dans le même panier »

En 2021 mes productions sont les suivantes : lavandin, blé dur et blé tendre, triticale, l'orge, lentilles, vesce, moutarde, luzerne, jachère (représente une grande part de l'assolement), oliviers, poules, verger, maraîchage. Tous ces ateliers et cultures différents me permettent diversifier mes sources de revenu et de ne plus tout miser sur une seule ou deux cultures comme avant.

**Témoignage de Laurent Berne, agriculteur à Albiosc.**