

Mémoire de fin d'études

Présenté pour l'obtention du diplôme d'ingénieur agronome
Spécialité SAADS, systèmes agroalimentaires et agricoles durables au Sud

Option RESAD, ressources, systèmes agricoles et développement

Vers une irrigation de résilience sur le plateau de Valensole :
Caractérisation des performances et optimisation des outils de
pilotage de l'irrigation sur le lavandin



Elise ROUDAUT

Année de soutenance : 2021

Organisme d'accueil : Société du Canal de Provence



Mémoire de fin d'études

**Présenté pour l'obtention du diplôme d'ingénieur agronome
Spécialité SAADS, systèmes agroalimentaires et agricoles durables au Sud**

Option RESAD, ressources, systèmes agricoles et développement

**Vers une irrigation de résilience sur le plateau de Valensole :
Caractérisation des performances et optimisation des outils de
pilotage de l'irrigation sur le lavandin**



Par Elise ROUDAUT

Année de soutenance : 2021

Mémoire préparé sous la direction de :
Frédéric Rossel

Présenté le : 14/09/2021

Organisme d'accueil :
Société du Canal de Provence

Maître de stage : Nicolas Urruty

Résumé

Vers une irrigation de résilience sur le plateau de Valensole : Caractérisation des performances et optimisation des outils de pilotage de l'irrigation sur du lavandin.

Le plateau de Valensole est un territoire dynamique orienté notamment vers la production de plantes à parfum, et plus particulièrement du lavandin (*Lavandula x intermedia*). Ce territoire est confronté depuis quelques années à plusieurs enjeux environnementaux, économiques et climatiques. C'est dans ce contexte que la démarche REGAIN a été initiée en 2014 par quatre partenaires acteurs du territoire, avec pour ambition d'accompagner les agriculteurs du plateau vers la transition agroécologique. Dans le cadre de ce projet, un réseau de suivi de l'irrigation du lavandin composé de 13 parcelles a été mis en place en 2019, avec pour objectif d'accompagner les agriculteurs vers une irrigation de résilience. Bien que le lavandin soit une culture méditerranéenne qui tolère relativement bien la sécheresse estivale, il est de plus en plus impacté par les effets du changement climatique et le dépérissement. En conséquence, le lavandin tend à être de plus en plus irrigué, souvent de manière empirique par les agriculteurs, en fonction du contexte météorologique de la campagne. Aussi ce mémoire a pour objectif de caractériser les grandes périodes phénologiques du lavandin, de mesurer les performances de l'irrigation par rapport à des conditions sèches, et d'identifier des indicateurs clés à suivre pour limiter la contrainte hydrique et ainsi optimiser l'efficacité de l'irrigation. La mise en place d'un calendrier spécifique à la culture, segmenté en quatre périodes agroclimatiques, a permis de faciliter l'interprétation des données récoltées. Le suivi des trois années du réseau a permis de caractériser les stratégies d'irrigation. Les apports sont modérés et se concentrent au cours de la floraison afin de la maintenir et après la récolte pour la bonne reprise végétative du plant. Les impacts de l'irrigation sur les performances agronomiques se montrent plutôt positifs sur le développement du plant et pour la production. Concernant la qualité de l'huile essentielle, elle n'est pas détériorée par l'irrigation. Pour terminer, au regard de la variabilité du taux de dépérissement sur les parcelles, les effets de l'irrigation sont encore à étudier sur le long terme afin de mieux comprendre les impacts sur la pérennité de la culture. La pertinence de trois outils (tensiomètre, dendromètre, télédétection) a été plus spécifiquement étudiée sur leur pertinence à anticiper des périodes de stress hydrique. Des indicateurs clés ont ainsi été déterminés par période. Ils ont été répertoriés sur des tableaux de bord sur l'outil SCP AgriData. Enfin, plusieurs actions de communication et de vulgarisation des résultats ont été menées auprès des producteurs : édition de bulletins périodiques afin de décrire les principaux faits météorologiques marquants et d'appuyer les lavandiculteurs dans leurs décisions de gestion du stress hydrique, organisation d'un webinaire au printemps sur l'usage des tableaux de bord et enfin présentation des résultats lors d'une journée technique en septembre devant les lavandiculteurs du réseau.

Mots clés

Irrigation, Résilience, Lavandin, Sécheresse, Agroécologie, Changement climatique

Abstract

Towards a resilience irrigation on the Valensole plateau:

Characterization of the performance and optimization of irrigation control tools on lavandin.

The Valensole plateau is a dynamic territory that is mainly focused on the production of perfume plants, and more particularly lavandin (*Lavandula x intermedia*). This territory is facing several environmental, economic, and climatic challenges for several years. In this context, a multipartenarial projet named REGAIN was initiated in 2014 by four partners involved in the territory, with the ambition of accompanying the farmers towards the agroecological transition. As part of this project, a lavandin irrigation monitoring network composed of 13 plots was set up in 2019, with the aim of accompanying farmers towards resilience irrigation. Although lavandin is a Mediterranean crop that tolerates summer drought relatively well, it is increasingly impacted by the effects of climate change and dieback. As a consequence, lavandin tends to be irrigated more and more, often in an empirical way, according to the meteorological context of the campaign. The objective of this study is to characterize the main phenological periods of lavandin, to measure the performance of irrigation in relation to dry conditions, and to identify key indicators to be followed to limit the water constraint and thus optimize the efficiency of irrigation. The implementation of a crop-specific calendar, segmented into four agroclimatic periods, facilitated the interpretation of the data collected. The monitoring of the three years of the network has made it possible to characterize the irrigation strategies. Irrigation is moderate and concentrated during flowering to maintain it and after harvest to ensure good vegetative recovery of the plant. The impacts of irrigation on agronomic performance were positive for the development of the plant and for production. The quality of the essential oil was not affected by irrigation. Finally, in view of the variability of the rate of dieback on the plots, the effects of irrigation still need to be studied in the long term in order to better understand the impacts on the sustainability of the crop. The relevance of three tools (tensiometer, dendrometer, remote sensing) was more specifically studied on their relevance to anticipate periods of water stress. Key indicators were thus determined for each period. They were listed on the SCP AgriData tool. Finally, several actions of communication and popularization of the results were carried out with the producers: edition of periodic bulletins to describe the principal meteorological facts and to support the lavandiculturists in their decisions of management of the hydric stress, organization of a webinar in spring on the use of the dashboards and finally presentation of the results during a technical day in September in front of the lavandiculturists of the network.

Key words

Irrigation, Resilience, Lavandin, Drought, Agroecology, Climate change

Roudaut, Elise, 2021. Vers une irrigation de résilience sur le plateau de Valensole : Caractérisation des performances et optimisation des outils de pilotage de l'irrigation sur le lavandin. Mémoire d'Ingénieur Agronome des systèmes agroalimentaires et agricoles durables au Sud, option ressources, systèmes agricoles et développement, Montpellier SupAgro. 64 p.

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier Nicolas Urruty, mon tuteur de stage, ingénieur agronome à la Société du Canal de Provence, pour m'avoir accompagné pendant presque deux ans et guidé dans ce mémoire. Son expertise, sa disponibilité et sa pédagogie ont été d'une aide précieuse au cours de ces derniers mois. Un grand merci également à Paola Pommier pour le temps qu'elle m'a consacré, pour sa capacité à transmettre ses connaissances et aussi pour m'avoir aidée à mûrir au cours de mes deux premières années d'apprentissage.

Merci à Alice Ract-Madoux et Julien Lecollinet pour leur expertise et leur aide tout au long de cette étude. Un grand merci à Julie Bourrières pour son travail sur la télédétection, sa disponibilité et le temps accordé à ce projet. Merci à Frédéric Missemmer pour m'avoir présenté les équipements de chaque parcelle sur le plateau.

Je remercie l'ensemble du service du département des aménagements hydro-agricoles, au sein duquel j'ai effectué mon apprentissage, pour leur accueil, leur disponibilité et pour la confiance accordée à mon travail. Merci à mes compagnons de bureau, apprentis et stagiaires, pour le partage et la bonne humeur.

Mes remerciements vont également à Frédéric Rossel, mon tuteur pédagogique pour son suivi et ses conseils et à l'équipe pédagogique du pôle apprentissage de Montpellier Supagro.

Un grand merci aux agriculteurs du plateau de Valensole, pour leur temps, leur implication et leur témoignage. Merci également aux partenaires techniques du projet pour leur échange de connaissances.

Enfin, je te tiens à remercier la promotion RESAD, pour l'entraide et la bienveillance au cours de cette dernière année d'école.

Table des matières

Résumé	3
Abstract	4
Remerciements	6
Table des matières	7
Table des illustrations.....	10
Avant-Propos.....	12
Glossaire.....	13
Sigles et acronymes	14
Introduction	15
1 Contexte du projet.....	16
1.1 La zone d'étude : Le plateau de Valensole.....	16
1.1.1 Localisation et contexte climatique	16
1.1.2 Géologie, hydrogéologie et sols.....	17
1.1.3 Historique agricole et assolement actuel	18
1.1.4 L'irrigation.....	19
1.1.5 Les problématiques agro-environnementales	20
1.2 Le lavandin : caractéristiques, production de l'huile essentielle et filière.....	21
1.2.1 Les caractéristiques du lavandin	21
1.2.2 La production de l'huile essentielle	22
1.2.3 La filière du lavandin	23
1.3 Problématique de l'étude	23
1.3.1 Le réseau de suivi de l'irrigation du lavandin et ses objectifs	23
1.3.2 La problématique de cette étude	24
2 Matériels et méthode.....	26
2.1 Le réseau de parcelles.....	26
2.2 Suivi de la contrainte hydrique	29
2.2.1 Les données météo.....	29
2.2.2 Les données sols	31
2.2.3 Les données plantes	31
2.2.4 Les indicateurs spectraux.....	33
2.2.5 Les données irrigation.....	33
2.2.6 L'outil SCP AGRIDATA	33
2.3 Les indicateurs de performances.....	34
2.3.1 Indicateurs de suivi du développement du lavandin.....	34

2.3.2	Indicateurs de suivi de la quantité et de la qualité de la production	35
2.3.3	Indicateurs du taux de dépérissement	36
2.4	Méthode d'analyse des résultats.....	36
3	Résultats.....	37
3.1	Calendrier cultural du lavandin.....	37
3.2	Caractérisation des contextes météorologiques et des pratiques d'irrigation	39
3.2.1	Des contextes météorologiques différents	39
3.2.2	Les irrigations	40
3.3	Impacts de l'irrigation sur les performances agronomiques du lavandin	41
3.3.1	Impacts de l'irrigation sur la croissance et les composantes de rendement du lavandin	41
	Le développement des composantes du rendement.....	41
3.3.2	Impacts de l'irrigation sur le rendement du lavandin	43
3.3.3	Impacts sur la qualité de l'huile essentielle	46
3.3.4	Impacts sur le taux de dépérissement du lavandin.....	46
3.4	Quels outils à suivre pour anticiper les périodes de stress hydrique et adapter les irrigations ?.....	48
3.4.1	Le tensiomètre.....	48
3.4.2	Le dendromètre	49
3.4.3	Les indicateurs spectraux par la télédétection	55
3.4.4	Synthèse des indicateurs agro-climatiques pertinents à suivre	57
4	L'animation du réseau	59
4.1	La rédaction de bulletins de communication	59
4.2	L'organisation d'un webinaire	59
4.3	L'adaptation de l'outil SCP AgriData.....	59
5	Discussions	60
5.1	Retour sur la méthode et les résultats.....	60
5.2	Perspectives pour approfondir l'étude.....	62
	Conclusion.....	63
	Références bibliographiques	64
	Annexes.....	67
	Annexe 1 : Topographique et type de sol sur le plateau de Valensole	67
	Annexe 2 : Carte représentant l'occupation du sol du plateau de Valensole	68
	Annexe 3 : Carte représentant la délimitation du réseau SCP existant	69
	Annexe 4 : Evolution des consommations en eau d'irrigation sur le plateau de Valensole	70
	Annexe 5 : Le cycle de contamination du phytoplasme de stolbur par l'insecte vecteur, <i>Hyalesthes obsoletus</i>	71
	Annexe 6 : Dessin d'une hampe de lavandin	72

Annexe 7 : Les trichomes glandulaires.....	73
Annexe 8 : La filière du lavandin	74
Annexe 9 : Les grands objectifs du projet Regain.....	75
Annexe 10 : Le rôle de l'eau chez la plante	76
Annexe 11 : L'outil SCP AgriData.....	77
Annexe 12 : Placette de suivi du développement	78
Annexe 13 : Répartition des dates par décade pour les 3 campagnes	79
Annexe 14 : Evolution de la teneur en eau dans le sol et des précipitations	80
Annexe 15 : Graphiques du suivi terrain 2021	81
Annexe 16 : Volume moyen post-récolte des plants sur l'ensemble des parcelles	84
Annexe 17 : Résultats de la production pour la campagne 2021.....	86
Annexe 18 : Résultats de la production	89
Annexe 19 : Rendement en huile essentielle en fonction de la quantité d'eau reçue.....	90
Annexe 20 : Analyse de la qualité de l'huile essentielle	91
Annexe 21 : Taux de dépérissement.....	94
Annexe 22 : Relation entre la dendrométrie et la tensiométrie	96
Annexe 23 : Variation du diamètre d'une branche de lavandin au cours d'un stress hydrique.....	97
Annexe 24 : Identification des périodes de contraction estivale	99
Annexe 25 : Cinétique du NDVI entre parcelles irriguées et en sec	101
Annexe 26 : Relation entre le NDVI et la dendrométrie	102
Annexe 27 : Identification des décades de sécheresse	104
Annexe 28 : Réponse du NDVI à la tensiométrie	105
Annexe 29 : Relation entre la valeur maximale de NDVI et la production de matière sèche	107
Annexe 30 : Bulletins de conseil pour chaque période du lavandin.....	108
Annexe 31 : Lien des bulletins vidéo	112
Annexe 32 : Poster restitution matinée technique 2021	113
Annexe 33 : Webinaire	114

Table des illustrations

Carte 1 : Localisation du plateau de Valensole. Source : A. Lang & M. Ramseye, 2011	16
Carte 2 : Plan de phasage adopté par la SCP pour étendre son réseau de desserte en eau sur le plateau de Valensole. Source : SCP, 2017	20
Carte 3:Parcelles du réseau irrigation sur le plateau de Valensole (irriguée en vert, et au sec en orange).....	26
Carte 4: Vue aérienne des zones non-irriguées par le matériel des parcelles Roumoules01 et Valensole 01.....	29
Figure 1 : Diagramme ombrothermique de la ville de Roumoules à partir des normales climatiques. Source : diagramme réalisé à partir des données Météo-France-station Roumoules. Moyennes climatiques calculées entre 1981 et 2010.	17
Figure 2 : Répartition de l'occupation du sol. Source : Lefeuvre, 2018 ; graphique réalisé à partir des données RPG 2016.	19
Figure 3 : Morphologie des hampes florales de Lavande aspic, Lavande fine et Lavandin. Source : Thèse Lamacque, 2020	21
Figure 4: Itinéraire technique général du lavandin sur le plateau de Valensole. Source : Lang & Ramseyer, 2011.....	28
Figure 5 : Image d'une fiche explicative fournie par le laboratoire Elisol sur l'analyse de la nématofaune du sol, les différents indicateurs de suivi et les résultats.	28
Figure 6 : Station agro-météo installée sur le rang d'une parcelle du réseau. Source : photo personnelle	30
Figure 7 : sondes tensiométriques reliées au Silo sur une parcelle du réseau, Source : photo SCP.....	31
Figure 8 : Dendromètre installé sur l'une des parcelles du réseau, Source : SCP	32
Figure 9: Objectifs de l'outil SCP AgriData	34
Figure 10 : Modèle de notation utilisé : note de 1 (sains) à 4 (mort), Source : CRIEPPAM...	36
Figure 11 : Calendrier avec périodes agro-climatiques du lavandin.....	37
Figure 12 : Besoins et risques impactant le développement des composantes du rendement du lavandin au cours de chaque période.....	38
Figure 13 : Cinétique de croissance des hampes entre parcelles irriguées et en sec. Les mesures ont été effectuées sur 40 hampes réparties sur 4 plants, toutes les décades.....	42
Figure 14 : Volume des plants en post-récolte en dm ³ . Source : données brutes issus du Crieppam	43
Figure 15 : Rendement en huile essentielle sur les parcelles avec témoin pour la campagne 2020. Source : graphique effectué à partir des données du Crieppam.	45
Figure 16 : Taux de dépérissement en fonction de l'âge et de la conduite de la parcelle.....	47
Figure 17 : Santé des plants (globale) et santé des plantes liée au dépérissement à stolbur pour les deux parcelles avec témoin en 2020.	47
Figure 18 : Données issues des tensiomètres de la parcelle de Valensole 01 au cours de la	

période 3 (de juin à juillet) de la campagne 2019. Source : graphique SCP AgriData.	49
Figure 19 : Evolution du diamètre d'une branche de lavandin au cours du temps en fonction des précipitations. Source : graphique retravaillé, Lia Lamacque, 2020	50
Figure 20 : Evolution du diamètre moyen journalier d'une branche de la parcelle Montagnac (irriguée) et de Roumoules 01 (partie en sec) entre le 24 mai 2020 et le 29 juillet 2021. La campagne 2020 est caractérisée par la lettre A et la campagne 2021 par la lettre B.	51
Figure 21 : Taux de croissance, date du maximum de diamètre et quantité d'eau reçue sur chaque parcelle pour les deux années de suivi.	52
Figure 22 : Tableau présentant les PLD pour chaque année et la durée de la contraction.	54
Figure 23 : Réponse de la dendrométrie aux irrigations sur la parcelle de Montagnac, après des apports d'irrigation du 10 mai au 6 août 2021. Source : graphique réalisé à partir des données Webcomsag.	54
Figure 24 : Rendement en essence en fonction de la valeur max de NVDI pour chaque parcelle en 2019 et 2020. La taille des ronds est proportionnelle à l'âge des parcelles.	57
Figure 25 : Tableau de bord relatif à la période 1 du cycle du lavandin sur SCP Agridata. Les indicateurs à suivre : (1) précipitations, (2) temps thermique, (3) température de rosée, (4) températures et (5) tensiométrie pour la P1 sont visibles pour chaque année afin de faciliter la comparaison et l'interprétation. (Source : site SCP Agridata)	60
Tableau 1 : Evolution du prix du lavandin (€/kg d'HE) entre 2015 et 2021. Source : FranceAgriMer 2021	23
Tableau 2 : Les caractéristiques des parcelles du réseau de suivi	27
Tableau 3 : Répartition des décades par période sur une campagne	39
Tableau 4: Résumé des cumuls de précipitations et de temps thermiques : moyennes de l'ensemble des parcelles du réseau. Source : données SCP Agridata pour les 3 campagnes de suivi. Pour les normales de saisons, données Météo France, moyenne 1981-2010.....	39
Tableau 5: Résumé des irrigations sur les 6 parcelles irriguées. L'irrigation post-récolte en phase 4, a été prise en compte à partir du 16 juillet, date moyenne des récoltes pour les 3 campagnes.	41
Tableau 6 : Moyenne des composantes du rendement suivies en 2021 pour les parcelles en sec et en irrigué.....	42
Tableau 7 : Moyenne des indicateurs de rendements entre parcelles irriguées et au sec pour les 3 campagnes de suivi.....	44
Tableau 8 : Moyenne de l'indicateur AMCj par période sur les deux parcelles équipées pour 2020 et 2021. Le nombre de jour supérieur au seuil de 100 µm a été comptabilisé.	53
Tableau 9 : Pourcentage de diamètre gagné entre au cours de la P4 sur les deux parcelles. ...	55
Tableau 10 : Bilan des indicateurs de suivi à surveiller selon les objectifs de chaque période du cycle du lavandin.....	58

Avant-Propos

Dans le cadre de mon cursus en cycle d'ingénieur au sein de l'Institut Agro (Montpellier Supagro), j'ai réalisé mes trois années par la voie de l'apprentissage au sein de la Société du Canal de Provence (SCP). J'ai donc alterné les périodes en entreprise et à l'école.

La société du Canal de Provence, dont le siège est situé sur la commune du Tholonet (13), est une société d'économie mixte et dont le capital est détenu en majorité par des établissements publics (minimum 85%) et par au moins un établissement privé. Elle a été créée en 1957 à la suite du pacte de solidarité de 1955 entre les départements du Var, des Bouches-du-Rhône et la ville de Marseille qui définissent une stratégie commune pour la gestion des eaux du Verdon. Elle possède ainsi le statut de Société d'Aménagement Régional (SAR) avec une mission de service public en vue de l'irrigation et de l'alimentation en eau pour les usages domestiques, agricoles et industriels.

J'ai réalisé mon apprentissage au sein du Département des Aménagements Hydro-agricoles (DAH), qui dépend de la Direction de l'ingénierie et des Services (DIS) aux activités pluridisciplinaires de bureau d'études. Ainsi, ces trois années m'ont permis de découvrir et de participer à plusieurs projets, en France comme à l'étranger : des projets de diagnostic des besoins en eau de territoires, ou encore une étude d'identification des acteurs et projets de développement liés à l'eau dans plusieurs pays des Caraïbes.

Ce mémoire de fin d'études de six mois fait partie intégrante du projet Regain co-animé par la SCP avec trois autres partenaires :

- Le parc naturel régional du Verdon, dont les principales missions sont les suivantes : développer le territoire en le protégeant tout en le mettant en valeur, participer à son aménagement, accueillir, informer et éduquer les publics aux enjeux qu'ils portent, et enfin expérimenter de nouvelles formes d'actions publiques et/ou collectives.
- La Chambre d'Agriculture des Alpes-de-Haute-Provence : elle est investie dans plusieurs missions comme la contribution à l'amélioration de la performance économique, sociale et environnementale des exploitations agricoles et de leurs filières mais aussi à l'accompagnement des agriculteurs et au développement durable du territoire.
- La chaire AgroSYS de Montpellier Supagro : elle est une chaire d'entreprises d'ingénierie pour les agrosystèmes durables. Elle accompagne la transition agro-écologique par l'ingénierie et la formation et fait office d'interface interdisciplinaire avec la communauté scientifique de Montpellier SupAgro, ses étudiants et ses unités de recherche.



Glossaire

Agroécologie : L'agroécologie est l'utilisation intégrée des ressources et des mécanismes de la nature dans l'objectif de production agricole. Elle allie les dimensions écologique, économique et sociale et vise à mieux tirer parti des interactions entre végétaux, animaux, humains et environnement (définition Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation).

Captage prioritaire : captage d'eau potable devant faire l'objet de programmes d'actions pour restaurer la qualité des eaux brutes polluées.

Décade : Période de dix jours.

Dépérissement : les symptômes de dépérissement peuvent être induits par notamment le phytoplasme de Stolbur transmis par *Hyalesthes obsoletus* (un insecte vecteur), mais également par d'autres facteurs comme la cécidomyie, la sécheresse ou autres maladies.

Irrigation de résilience : se caractérise par trois composantes : (i) plus économe en eau, en étant centrée sur la sécurisation de la production agricole ; (ii) irrigation qui s'accompagne d'une évolution des assolements et des pratiques culturales pour rendre plus efficaces les apports ; et enfin (iii) irrigation qui ne vise pas la production maximale de production mais un optimum dans lequel convergent rentabilité agricole et économie de la ressource en eau (CGEDD, 2020).

Natura 2000 : Réseau européen de zones de conservation de sites avec des habitats écologiques naturels.

Résilience : Capacité d'un écosystème, d'un biotope ou d'un groupe d'individus (population, espèce) à résister et se rétablir après une perturbation extérieure.

Zone vulnérable nitrate : zone présentant une pollution aux nitrates d'origine agricole. Un plan d'actions (national et régional) est appliqué à ses zones pour limiter la pollution.

Sigles et acronymes

AMCj : Amplitude maximale de contraction journalière d'une tige ligneuse

CA04 : Chambre d'Agriculture des Alpes de Haute Provence

CIHEF : Comité interprofessionnel des huiles essentielles françaises

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

Dmax : Diamètre maximal

Dmin : Diamètre minimal

GIEC : Groupe Intergouvernemental d'experts sur l'Évolution du Climat

HE : Huile Essentielle

IB : Indice de brillance

ITEPMAI : Institut technique interprofessionnel des plantes à parfum, médicinales, aromatiques et industrielles

NDRE : Normalized Difference Red-Edge

NDVI : Normalized Difference Vegetative Index

NDWI : Normalized Difference Water Index

PLD : Pourcentage de perte de diamètre

PNRV : Parc Naturel Régional du Verdon

PPAM : Plante à Parfum, aromatiques et médicinales

SAU : Surface agricole utile

SCP : Société du Canal de Provence

VPD : Déficit de pression de vapeur

Introduction

Le plateau de Valensole, situé dans les Alpes-de-Haute-Provence, est un territoire agricole dynamique orienté vers la production de plantes à parfum, particulièrement le lavandin, emblématique du paysage et au cœur de l'activité économique locale. Mais le plateau est confronté depuis plusieurs années à de nombreux risques et enjeux : environnementaux avec l'appauvrissement des sols et la pollution des eaux par les nitrates et pesticides ; économiques, avec la variabilité des prix du lavandin et le déclin de la filière du blé ; climatiques, avec l'intensification des aléas de sécheresse et de gel ; et enfin plus récemment, réglementaire avec le projet de la Commission européenne qui pourrait classer les huiles essentielles de lavandin parmi les produits dangereux d'ici à 2025. Dans ce contexte, la démarche Regain a été initiée en 2014 par la collaboration de 4 partenaires acteurs du territoire : la Société du Canal de Provence (SCP), le Parc Naturel Régional du Verdon, la Chambre d'Agriculture des Alpes-de-Haute-Provence et la chaire AgroSYS de Montpellier Supagro. L'ambition principale de ce projet est **d'accompagner les agriculteurs du plateau dans la transition agroécologique par le développement de pratiques performantes, résilientes et préservant l'environnement**. Cette transition se fonde sur trois piliers : (i) cultiver la diversité des agrosystèmes ; (ii) replacer le sol et la matière organique au centre des préoccupations ; (iii) optimiser l'efficacité des intrants et réduire leurs impacts. La démarche est co-construite par la collaboration entre les partenaires fondateurs mais également grâce à un partenariat large et des échanges avec les agriculteurs, les instituts techniques (Arvalis, CRIEPPAM), les unités de recherche et universités. La stratégie d'action pour chacun des piliers consiste à identifier les pratiques agroécologiques, les évaluer et les diffuser auprès des agriculteurs et des acteurs économiques. Plusieurs actions ont donc été déployées par les partenaires, à l'échelle de la parcelle, de l'exploitation ou du territoire.

Dans l'optique de travailler sur l'optimisation des intrants, et notamment l'eau, un réseau de suivi de l'irrigation du lavandin a été mis en place en 2019. Ce réseau a pour objectif de comprendre les pratiques des irrigants et les mécanismes de réponse face au stress hydrique du lavandin. Son ambition est **d'accompagner les agriculteurs vers une irrigation de résilience**, plus économe en eau, et visant la stabilité des productions dans un contexte climatique fluctuant plutôt que leur maximisation. En effet, le changement climatique induit des aléas météorologiques plus intenses et plus fréquents impactant les filières de production d'huile essentielle sur le plateau de Valensole. Aussi, à la demande grandissante des agriculteurs et des collectivités, un nouveau schéma d'extension du réseau d'irrigation sur le plateau a été initié par la SCP, et débutera à la fin de l'année 2021. Aussi, afin d'améliorer la performance de l'irrigation qui tend à augmenter pour la production du lavandin, ce mémoire a pour objectif **la caractérisation des performances de l'irrigation par rapport à des conditions sèches, et l'optimisation des outils de pilotage de l'irrigation sur du lavandin**. Des indicateurs pertinents pourront ainsi optimiser l'irrigation en modulant les apports au plus près des besoins et permettre l'accompagnement des irrigants dans leur prise de décision.

Pour répondre à cet objectif, les pratiques des irrigants ont tout d'abord été caractérisées pour mieux comprendre les stratégies d'irrigation. L'impact de l'irrigation sur les performances agronomiques a ensuite été évalué et quantifié. Enfin, la capacité de trois outils (le tensiomètre, le dendromètre et la télédétection) a été plus spécifiquement étudiée sur leur pertinence à anticiper des périodes de stress hydrique. L'analyse a été effectuée à partir des données collectées au cours des trois années de suivi du réseau de parcelles.

1 Contexte du projet

1.1 La zone d'étude : Le plateau de Valensole

1.1.1 Localisation et contexte climatique

Le plateau de Valensole se situe dans la région SUD Provence-Alpes-Côte-D'azur au sud du département des Alpes-De-Haute-Provence (Carte 1). Entouré par la vallée de la Durance à l'ouest, la vallée de l'Asse au nord et par le lac de Sainte-Croix au sud-Ouest, il s'étend sur 800 km² avec une altitude moyenne de 500 mètres. Il fait partie intégrante du Parc Naturel Régional du Verdon, et accueille deux sites Natura 2000. Il est également le lieu de vie d'espèces protégées au niveau national et européen.



Carte 1 : Localisation du plateau de Valensole. Source : A. Lang & M. Ramseye, 2011

Le climat du plateau de Valensole est méditerranéen mais est marqué par l'influence de l'altitude sur les températures. Les étés sont chauds et secs avec une forte amplitude thermique entre le jour et la nuit et les hivers rigoureux. La pluviométrie annuelle moyenne (normales climatiques 1981-2010) est de 690 mm et la température annuelle moyenne d'environ 12°C (Figure 1). Le mois de juillet est le plus sec (moins de 20 mm de précipitations en moyenne) et le mois d'octobre est le plus pluvieux de l'année avec environ 80 mm de précipitations.

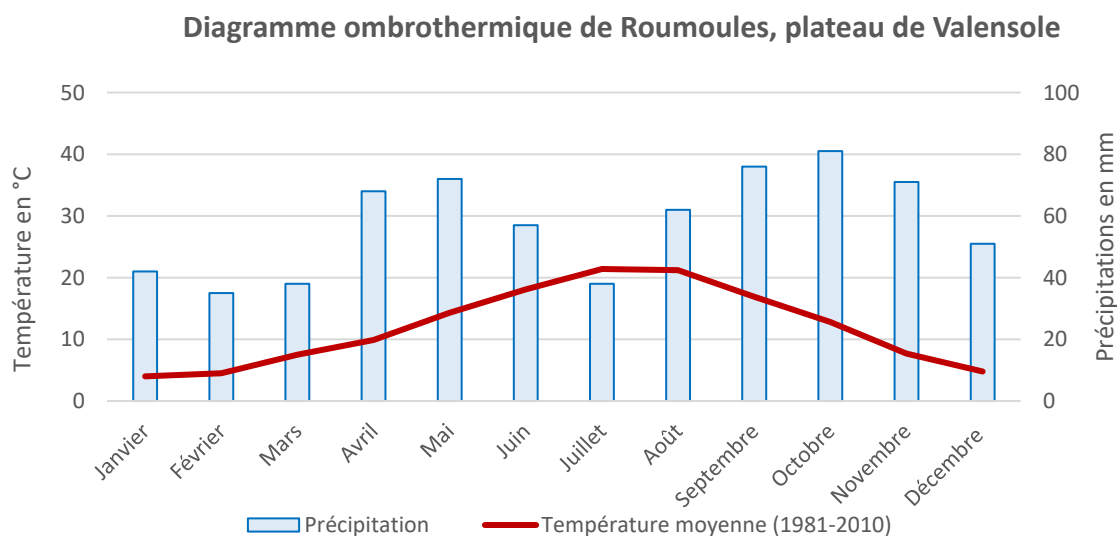


Figure 1 : Diagramme ombrothermique de la ville de Roumoules à partir des normales climatiques. Source : diagramme réalisé à partir des données Météo-France-station Roumoules. Moyennes climatiques calculées entre 1981 et 2010.

Les pluies sont souvent irrégulières et présentent une variabilité inter et intra-annuelle très forte avec deux pics de précipitations au printemps et à l'automne. Elles tombent majoritairement sous forme de gros orages notamment à l'automne entraînant une perte importante de l'eau par ruissellement. Les gelées sont assez fréquentes jusqu'en mi-avril pouvant impacter la floraison des vergers présents sur le territoire (pommiers, amandiers notamment). Des hétérogénéités sont également présentes au sein du plateau avec dans l'ensemble des températures plus fraîches, et davantage de précipitations, au Nord-Ouest qu'au Sud-Est.

L'irrégularité de la pluie, s'ajoute à un ensoleillement important (300 jours par an) et au Mistral, vent du Nord-Ouest qui souffle 60% de l'année. Aussi, les sols du plateau étant particulièrement drainant, la contrainte hydrique est forte sur la zone et constitue un enjeu majeur pour l'agriculture.

1.1.2 Géologie, hydrogéologie et sols

Géologie et hydrogéologie

L'origine du plateau de Valensole est une accumulation de matériaux détritiques, marnes, graviers et galets, mise en place par d'anciennes circulations fluviales (PNRV, 2010). Les substrats des sols du plateau sont principalement constitués de « poudingue de Valensole », conglomérat particulier formé majoritairement de galets calcaires issus de l'érosion et du transport du massif Alpin et d'une matrice calcaire. Au sein de ce conglomérat épais, des lits marneux d'épaisseurs variables sont présents (M. Bornand et M. Dosso, 2014 ; Lacassin, 2010). A l'échelle du paysage, le plateau présente une pente régulière, l'altitude décroît de 850 m au Nord-Est (Saint-Jurs) jusqu'à 350m à l'Ouest (retenue d'Esparron) (*Annexe 1 : Topographique et type de sol sur le plateau de Valensole-Figure 1*). Le plateau est sillonné du Nord-Est vers le Sud-Ouest par de nombreux ravins aux régimes intermittents. Ils viennent ainsi s'ajouter à la rivière du Colostre, le cours d'eau le plus important du plateau. Celui-ci se jette ensuite dans le Verdon à Gréoux-les-bains (DREAL, 2017).

Les sols

On observe différents types de sols qui diffèrent par la composition des matériaux originels mais surtout par la topographie observée. On peut ainsi distinguer les sols de replats, de bordures du plateau et de pentes (*Annexe 1 : Topographique et type de sol sur le plateau de Valensole- Figure 2*).

Le sol de replats est un sol rouge fersiallitique irrégulièrement caillouteux, peu calcaire, de texture fine argilo-sableuse. De profond à moyennement profond (80 – 100 cm) il s'agit d'un sol avec un stockage de l'eau et des éléments nutritifs satisfaisant malgré un faible taux de matière organique (MO) et un sous-sol très drainant.

Le sol des bordures du plateau est un sol brun calcaire jaunâtre avec une charge d'éléments grossiers assez élevée. La texture est moyenne (limono-sablo-argileuse) et l'encroustement calcaire est moins profond (20 à 80 cm). Davantage soumis à l'érosion naturelle et/ou anthropique, les taux de MO sont très faibles (Bornand et Dosso, 2015).

Les sols de pentes diffèrent en fonction de la roche parentale et de l'intensité de la pente, ils sont donc diversifiés, et souvent très sensibles à l'érosion (Lacassin, 2010).

1.1.3 Historique agricole et assolement actuel

L'histoire de l'agriculture du plateau a été reconstituée à partir des données issues du diagnostic agraire réalisé par A. Lang et M. Ramseyer (2011) et par l'étude réalisée par M. Bornand et M. Dosso (2015).

A la sortie de la 2nd guerre mondiale, la production du plateau de Valensole reposait essentiellement sur un système agricole polycultures-élevage : l'élevage ovin était associé à la production de céréales et de fourrages (sainfoin) cultivés sous des plantations de rentes d'amandiers.

Dans les années 50, le début de la motorisation a entraîné l'arrachage des amandiers pour faciliter le passage des machines et l'agrandissement des exploitations. S'implante alors le lavandin, une culture en plein essor au prix grandissant. L'essence de lavandin est en effet très demandée avec la démocratisation de la machine à laver et la production industrielle grandissante de lessive. Le blé dur fait également son apparition grâce à l'introduction de nouvelles variétés mieux adaptées au territoire et tolérantes à la sécheresse, aux prix plutôt élevés. **Les années 80** sont marquées par le remembrement du parcellaire jusque-là très morcelé. L'aménagement du sud du plateau par la Société du Canal de Provence à partir du lac de Sainte-Croix est alors initié pour répondre aux besoins en eau potable des communes mais aussi aux besoins agricoles. Trois mille hectares sont ainsi équipés permettant l'émergence de nouvelles cultures irriguées comme le pois, la luzerne, le maïs, ou encore l'irrigation des truffières et des vergers. Les surfaces en rotation lavandin/blé, de moins en moins attractifs financièrement pendant ces années ont alors reculé. Néanmoins, la réforme de la PAC en 1992, a relancé la production de blé dur au détriment des autres cultures irriguées avec des primes spécifiques. Ainsi, cette diversification n'a pas été maintenue et la production lavandin/blé dur est devenue majoritaire sur le plateau.

Aujourd'hui, l'occupation du sol peut être répartie en trois unités géographiques (*Annexe 2 : Carte représentant l'occupation du sol du plateau de Valensole*) :

- **Le plateau**, caractérisé par les grandes cultures, les plantes à parfum (lavandin, sauge scolarée, immortelle, fenouil...), les cultures de semences (betterave, tournesol...), et des plantations arboricoles mais dans de moindres proportions (oliviers, pommiers, chênes truffiers) ;

- **Les fonds de vallées** sont en déprise (friches ou prairies permanentes) ou cultivés en blé dur ou avec des cultures très rémunératrices (maraîchage, horticulture, pépinières de boutures de lavandin) ;
- **Les versants** ne sont pas ou peu cultivés et restent boisés. Ils sont souvent pâturés par des troupeaux ovins.

La zone géographique représente 20 000 hectares de surface agricole utile avec plus de 250 exploitations agricoles. La répartition des cultures montre bien la prédominance lavandin/blé dur sur le plateau avec notamment 5 000 ha dédiés à la lavande et au lavandin (Figure 2).

Répartition des cultures sur la SAU du plateau de Valensole (20 000 ha)

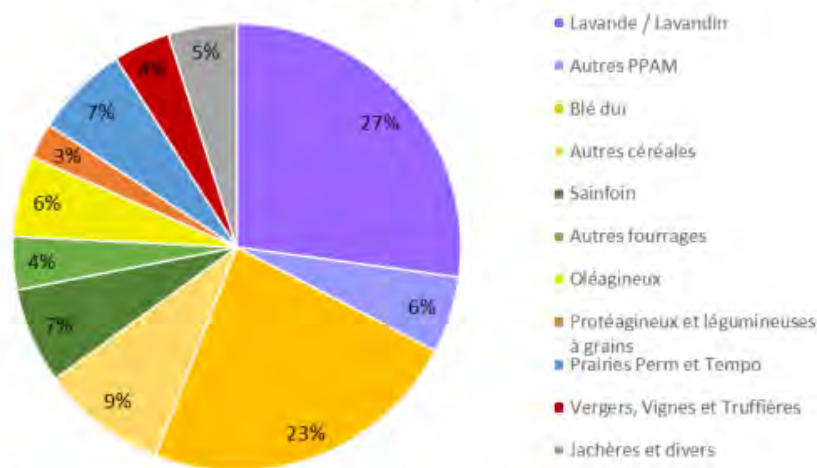


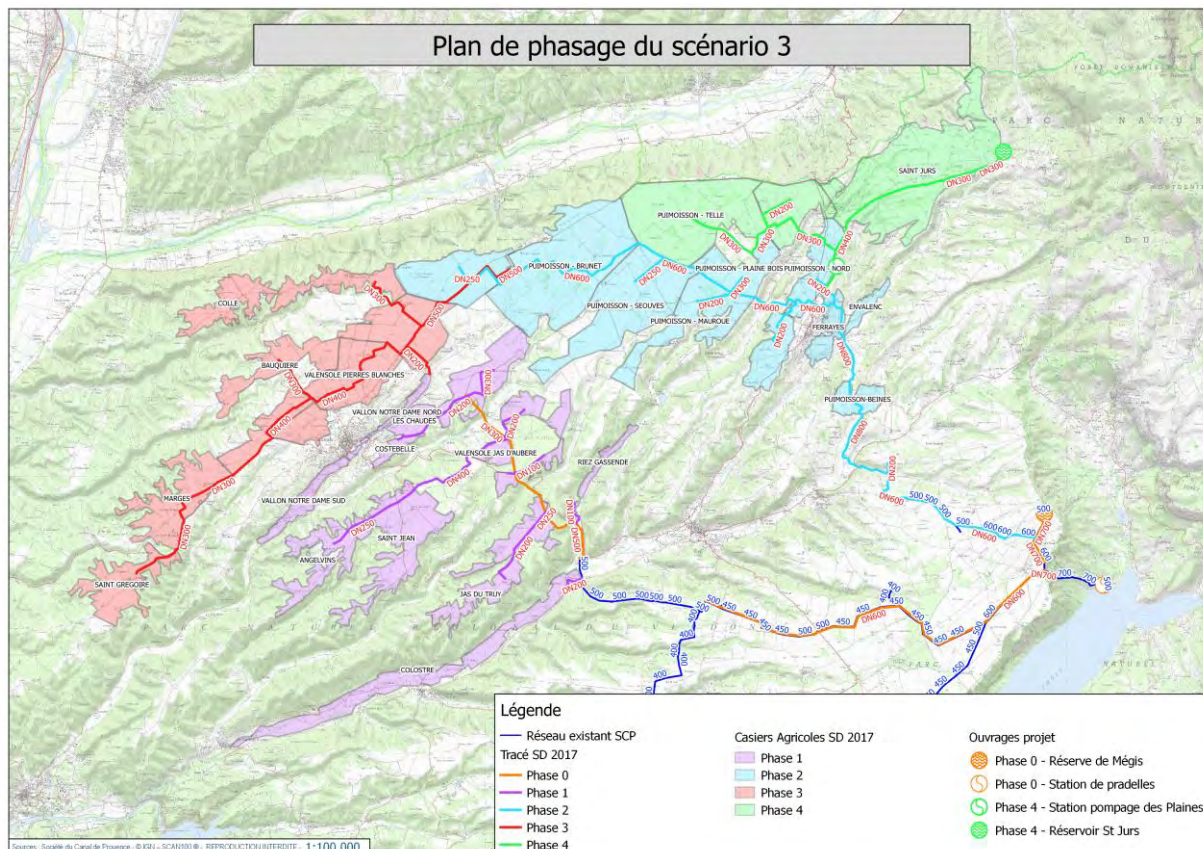
Figure 2 : Répartition de l'occupation du sol. Source : Lefeuvre, 2018 ; graphique réalisé à partir des données RPG 2016.

1.1.4 L'irrigation

Comme évoqué précédemment, l'irrigation est arrivée sur le plateau à la fin des années 1980 avec l'aménagement de la partie sud du plateau. Il est important de noter que d'autres exploitations, en dehors de la zone, possèdent des sources (forages, bassins) individuelles privées (*Annexe 3 : Carte représentant la délimitation du réseau SCP existant*). Le réseau permet notamment une irrigation d'appoint pour les cultures traditionnellement conduites en sec à savoir le lavandin et le blé dur. L'irrigation s'effectue majoritairement par aspersion sur ces cultures. En 2007, la mise en place d'un tarif **d'irrigation à effacement de pointe (IEP)**¹, (*Annexe 4 : Evolution des consommations en eau d'irrigation sur le plateau de Valensole*), favorisa l'irrigation des cultures d'hiver, notamment du blé dur. Elle reste toutefois assez minoritaire, en outre par les charges élevées, l'investissement dans le matériel et par le temps de travail important nécessaire pour déplacer le matériel sur les parcelles. Cependant, on constate aujourd'hui une nouvelle tendance vers l'irrigation notamment pour le lavandin afin de lutter contre les épisodes de stress hydrique estival de plus en plus récurrents mais aussi par la volonté de diversifier les assolements (Welsh, 2017). A la demande des agriculteurs non raccordés et des collectivités, la SCP a initié en 2017 un nouveau schéma directeur d'extension

¹ Tarif préférentiel du 15 juin au 15 septembre

du réseau en plusieurs phases pour desservir une part importante du plateau (5 600 hectares supplémentaires). Ces phases sont représentées sur la Carte 2. Les travaux débutent en 2021, avec dans un premier temps, le renforcement de la ligne de production qui alimente déjà le sud du plateau pour une mise en service en 2022. Dans un second temps, un territoire de plus de 4 000 hectares sera aménagé sur la zone dite de Puimoisson suivi dans un dernier temps de la zone de Saint-Jurs, plus compliquée compte tenu de la topographie.



Carte 2 : Plan de phasage adopté par la SCP pour étendre son réseau de desserte en eau sur le plateau de Valensole. Source : SCP, 2017

1.1.5 Les problématiques agro-environnementales

Le plateau de Valensole est confronté à de multiples enjeux agro-environnementaux.

Les sols du plateau étant pauvres en matières organiques et très filtrants, les éléments fertilisants ou les pesticides sont souvent lixiviés par les pluies souvent violentes. Ainsi, l'intensification des pratiques agricoles et la faible diversification des systèmes de cultures sur le plateau, ont engendré des problèmes de **qualité d'eau, d'érosion et d'appauvrissement des sols** (M. Bornand, 2014). L'utilisation intensive des pesticides, notamment du dichlobénil sur le lavandin jusqu'en 2003 a créé une pollution importante des eaux. Ainsi, l'ensemble du territoire est classé « Zone vulnérable nitrates » depuis 2017, et 5 captages d'eau potable sont classés en captages prioritaires (AAC) présentant une pollution aux nitrates et pesticides (DREAL, SDAGE 2016-2021).

De plus, les **phénomènes de sécheresse et de canicule** sont de plus en plus récurrents (FranceAgriMer, 2020) sur plateau. Le développement végétatif de certaines cultures non

irriguées est donc fragilisé et engendre des pertes de rendements significatives pour l'agriculteur. Sur le lavandin, ces épisodes de sécheresse et de fortes températures influent aussi sur le **dépérissement à phytoplasme** (Lamacque, 2020). Ce problème sanitaire majeur pour la filière est causé par le phytoplasme² de Stolbur, qui est transmis aux plants par un insecte vecteur : *Hyalesthes obsoletus*³. Le cycle de *Hyalesthes obsoletus* dépend de la température. Ainsi, avec de fortes chaleurs, la date d'émergence des adultes peut être plus précoce et sa période de vol rallongée impactant davantage de plants (Lamacque, 2020) (*Annexe 5 : Le cycle de contamination du phytoplasme de stolbur par l'insecte vecteur, Hyalesthes obsoletus*). Les moyens de lutte directs comme les insecticides s'avèrent inenvisageables car le pic de vol de l'insecte correspond au pic de floraison des lavandes où butinent les abeilles. Les conséquences de cette maladie sont la diminution de la durée de vie de la culture et du rendement (C. Yvin et al, 2017).

Pour finir, on constate que la filière du blé dur, qui est la principale culture annuelle en rotation avec le lavandin est en déclin. Les aides PAC ont diminué pour la filière et les cours de marchés sont à la baisse. L'intérêt pour la production du blé dur est décroissant, et incite parfois les agriculteurs à raccourcir leur rotation en diminuant le temps de retour du lavandin, ce qui favorise le développement des maladies.

1.2 Le lavandin : caractéristiques, production de l'huile essentielle et filière

1.2.1 Les caractéristiques du lavandin

Le lavandin (*Lavandula x intermedia*) est un arbrisseau de la famille des lamiacées. Il est un hybride naturel entre la lavande fine (*Lavandula angustifolia*) et la lavande aspic (*Lavandula latifolia*), que l'on peut retrouver entre 500 m et 800 m d'altitude. Le lavandin est stérile et est donc multiplié par bouturage. Chaque plant est donc identique à son voisin, rendant ainsi cette culture homogène d'un mauve vif, très appréciée pour son esthétisme (Lamacque, 2020).

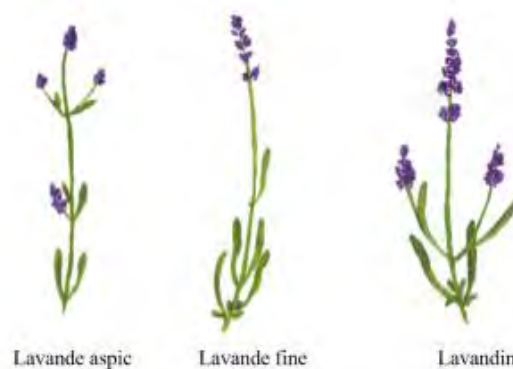


Figure 3 : Morphologie des hampes florales de Lavande aspic, Lavande fine et Lavandin. Source : Thèse Lamacque, 2020

Le lavandin est morphologiquement plus massif que ses parents, il peut dépasser le mètre de hauteur et a une forme en boule. Sa végétation s'avère plus luxuriante, le nombre d'étage

² Bactérie sans paroi

³ Hémiptère, cixiide, sorte de petite cigale.

d'épillets, ainsi que le nombre et la taille des calices par épi étant nettement plus important que la lavande (E.Barbier, 1964) (*Annexe 6 : Dessin d'une hampe de lavandin*). La culture du lavandin est semi-pérenne et peut rester en place entre 8 à 10 ans (Lang et Ramseyer, 2011). Elle n'est distillée qu'à partir de la 3^{ème} année. Aujourd'hui, la variété la plus cultivée est le lavandin Grosso, présentant un rendement et une longévité supérieurs aux autres variétés, en résistant mieux aux maladies notamment au dépérissement (Yvin, 2017). Elle représente 84 % de production actuelle de lavandin. (FranceAgriMer, 2021).

Le lavandin est une plante méditerranéenne, et présente des adaptations morphologiques à la sécheresse comme ses feuilles étroites pour limiter la transpiration et est doté d'un réseau de trichomes⁴ pour maintenir une micro-atmosphère humide ou encore le stockage de réserves d'eau. Il possède également un réseau de racines très dense et profond qu'il favorise au détriment de la biomasse aérienne lors de période de sécheresse

1.2.2 La production de l'huile essentielle

Les lavandins, comme beaucoup de Lamiaceae produisent des grandes quantités de terpènes volatils⁵. Les terpènes sont des hydrocarbures végétaux dont la majorité d'entre eux constituent le principe odoriférant des végétaux émis par les fleurs, dans le but d'attirer les pollinisateurs ou pour assurer leur défense face aux herbivores (Guitton, 2010). Ces composés terpéniques volatils sont stockés dans des structures spécialisées : les trichomes glandulaires (*Annexe 7 : Les trichomes glandulaires*). La densité de ces structures est beaucoup plus forte au niveau de la fleur et plus précisément des calices des lavandins. Les feuilles possèdent aussi une concentration importante de trichomes glandulaires mais en quantité 10 fois inférieure (Guitton 2010 ; Jullien et al. 2014). Lors d'un stress hydrique, la production de ces terpènes volatils est impactée. Elle pourrait même être un mécanisme de réponse face au stress. Plusieurs auteurs s'accorderaient à dire qu'un stress hydrique d'intensité moyenne aurait tendance à favoriser la production de terpènes volatils, alors qu'un stress sévère l'inhiberait (Despinasse, 2015). L'huile essentielle issue du lavandin est extraite des inflorescences par distillation, selon la méthode du vert-broyer. Les lavandins sont récoltés grâce à une ensileuse spécifique sur 3 rangs ou plus, qui broie l'ensemble des hampes florales. Celles-ci sont ensuite stockées dans un caisson, qui sera ensuite directement distillé. Il a été montré que la composition de l'huile essentielle évolue en fonction du stade de développement de la fleur (Guitton, 2010). De manière empirique, le stade de récolte optimale est estimé atteint lorsque 70% des fleurs sont fanées (échanges avec les agriculteurs).

Le rendement en huile essentielle du lavandin est plus intéressant que la lavande et atteint plus de 100 kg à l'hectare. Avec l'irrigation, un gain de rendements est observé sur plusieurs études. Il serait induit par une augmentation des inflorescences sans impacter la teneur en huile essentielle de celles-ci (CRIEPPAM, 2006 ; Welsch, 2017 ; Lefeuvre, 2018). En termes de qualité de l'huile essentielle, l'impact de l'irrigation reste encore mal connu. Moins subtil sur le plan olfactif, l'huile essentielle de lavandin est utilisée dans l'industrie des lessives et des détergents (FranceAgriMer, 2020)

⁴ Réseau de poils.

⁵ Les terpènes volatils font parties des composés organiques volatils (COV).

1.2.3 La filière du lavandin

La production de PPAM représente une centaine d'espèces, donc 46 % de la production provient de la filière lavandicole avec 1500 producteurs. La France est le premier producteur mondial de lavandin avec environ 1 470 tonnes d'huile essentielle en 2019 soit 90 % de la production mondiale, avec des surfaces qui sont à la hausse depuis plusieurs années (+ 10 % entre 2019 et 2020) (FranceAgriMer, 2021). La lavandiculture permet également de faire vivre le marché du miel dans la région Provence-Alpes-Côte d'Azur (*Annexe 8 : La filière du lavandin*).

Le lavandin est la base de l'économie du plateau de Valensole qui représente plus de la moitié de la production Française. Elle est assurée par un prix de vente élevé avec une tendance à la hausse jusqu'en 2019 (Tableau 1).

Essence (€/kg)	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Grosso	20	21	23	27	29	20	17

Tableau 1 : Evolution du prix du lavandin (€/kg d'HE) entre 2015 et 2021. Source : FranceAgriMer 2021

Néanmoins, depuis la campagne 2019 caractérisée par un prix très élevé (29 €/kg), une diminution du prix en 2020 et 2021 est observée. Cela pourrait être expliqué par la concurrence européenne et l'augmentation des surfaces de cultures en France. De plus, la filière du lavandin est spéculative. Ainsi, le marché de l'huile essentielle de lavandin demeure dans un contexte de variation des prix.

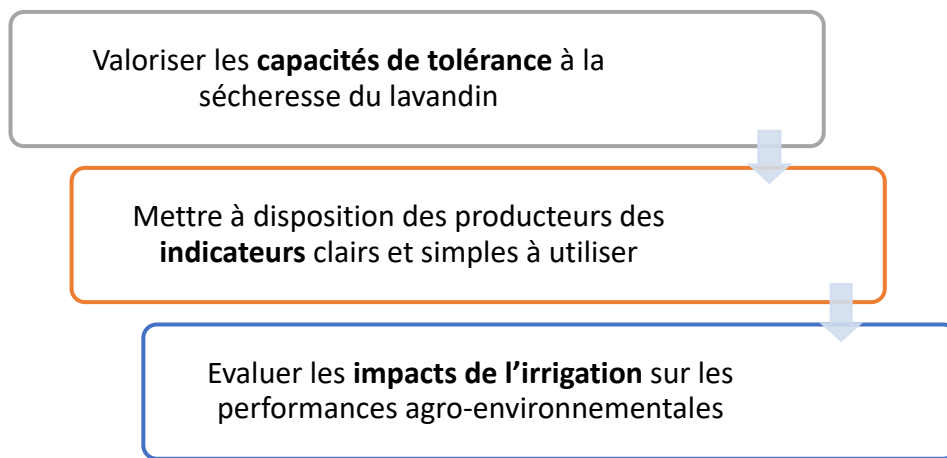
La filière est structurée par plusieurs acteurs de la production à la commercialisation. La production et la distillation sont assurées par des groupements de producteurs. Avec plus de 300 adhérents, et 40 % de la production nationale, la Société coopérative agricole des plantes à parfum de Provence (SCA3P) est la coopérative la plus importante. L'huile essentielle passe ensuite par des négociants intermédiaires avant d'être vendue aux industriels (Lang et Ramseyer, 2011). Plusieurs organismes techniques comme le CRIEPPAM (Centre Interprofessionnel d'Expérimentation en Plantes à Parfum Aromatiques et Médicinales) et l'ITEPMAI (Institut technique interprofessionnel des plantes à parfum, médicinales, aromatiques et industrielles) réalisent des expérimentations et des études sur les aspects agronomiques, et sur la distillation, et la mécanisation. Les chambres d'agriculture jouent aussi un rôle d'appui technique. Le CIHEF (Comité Interprofessionnel des Huiles Essentielles Françaises), mène également plusieurs missions de développement de l'utilisation des huiles essentielles sur le marché mondial, et d'études de toutes mesures d'ordre économique, scientifique et technique visant à améliorer la compétitivité et la qualité de la production française.

1.3 Problématique de l'étude

1.3.1 Le réseau de suivi de l'irrigation du lavandin et ses objectifs

Etant donné la place importante en termes de surface qu'occupe le lavandin sur le plateau, et le peu de références techniques sur ses besoins en eau, la SCP a mis en place un réseau de parcelles

afin de suivre les pratiques d'irrigation et **d'accompagner les lavandiculteurs vers une irrigation de résilience**. Ce réseau s'inscrit dans le pilier trois du projet Regain (*Annexe 9 : Les grands objectifs du projet Regain*). Les trois objectifs de l'étude sont de :



Le réseau compte 11 parcelles, dont 6 irriguées et 5 en sec, qui permettent de suivre l'impact de l'irrigation sur le lavandin et ainsi créer des références sur plusieurs dimensions : technico-économiques et environnementales. Pour cela, de nombreux indicateurs (climat, sol, plante...) ont été suivis et étudiés sur trois années depuis 2019.

1.3.2 La problématique de cette étude

L'eau étant le premier facteur limitant au développement de la plante (*Annexe 10 : Le rôle de l'eau chez la plante*), l'irrigation est un outil agronomique majeur pour contrôler l'état hydrique en fonction des caractéristiques de la parcelle, de l'année climatique et des objectifs de production. Pour l'optimiser, il est nécessaire de connaître au mieux les réponses de la plante à la contrainte hydrique. En effet, l'irrigation du lavandin est encore une pratique récente, avec peu d'études et de recul sur les besoins en eau de la plante et sur son impact sur les performances agronomiques.

Plusieurs points ont donc été travaillés au cours de cette étude afin de répondre aux objectifs du réseau du suivi de l'irrigation. **L'objectif final étant de caractériser la performance de l'irrigation et d'identifier des indicateurs et des outils pertinents à suivre afin de limiter la contrainte hydrique et ainsi optimiser l'irrigation du lavandin.**

Pour y répondre, **les pratiques de l'irrigation sur le plateau ont tout d'abord été caractérisées**. En effet, elles permettent de comprendre l'enjeu de l'irrigation sur la plante par rapport au contexte météorologique, les stratégies adoptées par l'agriculteur (fenêtre d'irrigation, moments clés, risques, motivations ...).

Dans un second temps, les **impacts de l'irrigation sur les performances agronomiques** ont été évalués, notamment sur le développement du lavandin, sur la production en termes de quantité et qualité et enfin sur le taux de dépérissement.

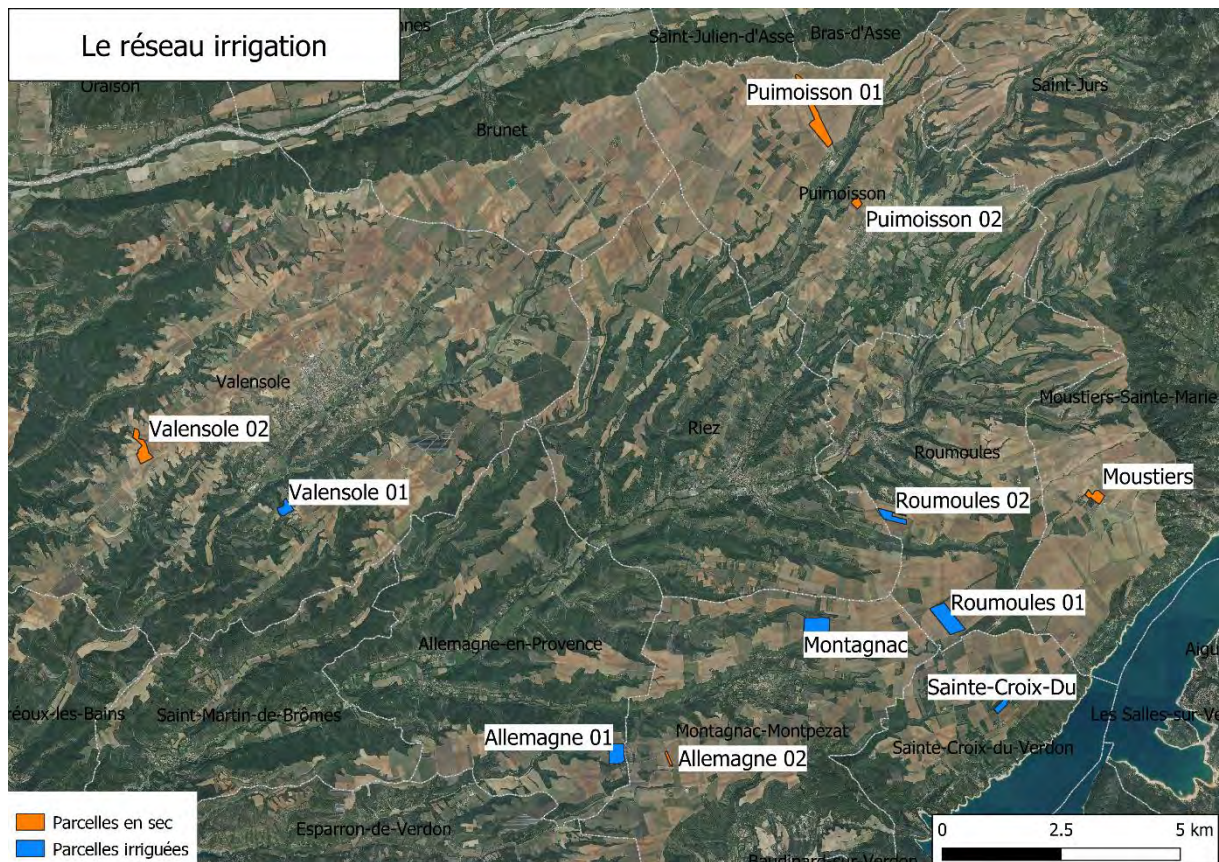
Enfin, à partir de l'ensemble des données récoltées, l'objectif de ce mémoire a été **d'améliorer l'efficacité de l'irrigation par des outils et des références pertinentes à suivre pour les agriculteurs**.

Dans une dimension plus transversale, **l'animation et la communication** des résultats a fait partie intégrante de l'étude. L'objectif a été de renforcer le lien entre la Société du Canal de Provence et les irrigants par le partage de données et par un accompagnement accessible et régulier.

2 Matériels et méthode

2.1 Le réseau de parcelles

Le réseau est composé de 11 parcelles équipées : 6 irriguées et 5 en sec. Elles sont situées autour de Valensole à l'ouest, de Puimoisson au nord, de Sainte-Croix à l'est et d'Allemagne en Provence au sud (Carte 3). Une des parcelles du réseau est conduite en agriculture biologique. Une convention d'hébergement de matériel de mesure, de suivi et de partage de données a été signée entre chaque producteur et la SCP.



Carte 3: Parcelles du réseau irrigation sur le plateau de Valensole (irriguée en vert, et au sec en orange).

La zone géographique étant très étendue, il est important de noter que l'ensemble des parcelles présentent des caractéristiques différentes en termes de sol, d'âge et de variété des plants, de conduite technique...

Le Tableau 2 présente les parcelles avec certaines de leurs caractéristiques :

Nom	Variété	Irrigation	Âge en 2021	% Argiles	% Limons	% Sables	% MO totale
Valensole 01	Grosso	Irriguée	7	19.4	59.0	21.6	3.0
Montagnac	Grosso	Irriguée	6	18.0	52.0	30.0	2.1
Roumoules 01	Grosso	Irriguée (pivot)	6	28.3	44.1	27.7	2.7
Sainte Croix du Verdon	Grosso	Irriguée	5	27.1	42.7	30.2	.4
Roumoules 02	Grosso	Irriguée	6	31.1	44.4	24.5	1.8
Allemagne en Provence 01	Grosso ada	Irriguée	4	21.4	50.0	28.6	2.6
Moustiers-Sainte-Marie	Grosso	Sec	5	22.5	39.4	38.0	2.3
Valensole 02	Grosso	Sec	6	23.4	49.8	26.8	2.2
Puimoisson 01	Grosso	Sec	5	32.0	43.0	25.0	2.5
Puimoisson 02	Sumian	Sec	4	32.6	47.3	20.2	2.1
Allemagne en Provence 02	Grosso en AB	Sec	5	20.0	50.0	30.0	2.2

Tableau 2 : Les caractéristiques des parcelles du réseau de suivi

Aussi, au cours de la première campagne de suivi, des entretiens ont été menés par la Chambre d'Agriculture du 04, avec chaque agriculteur afin de recenser les itinéraires techniques des parcelles. Plusieurs points ont été relevés :

- La date de plantation de la parcelle et la conduite de la culture.
- Le choix variétal du producteur, influant sur la tolérance du plant au dépérissement ou à la sécheresse. Au sein du réseau, la majorité des parcelles sont des plants de variété Grosso, qui sont plus tolérants au dépérissement. Une parcelle est en Sumian.
- L'historique de la parcelle : elle a un effet sur la « durée de vie » de la culture du lavandin implantée.
- Les passages de désherbage (chimique et mécanique) et la maîtrise de l'enherbement.
- La maîtrise des ravageurs, soit dans le cas du lavandin, majoritairement la cécidomyie et la cicadelle *Hyalesthes obsoletus*, pouvant fortement impacter la santé des plantes et le rendement.
- La fertilisation.

Ces entretiens ont permis d'avoir une vue d'ensemble des parcelles, pour in fine pouvoir les comparer. L'itinéraire technique type est représenté sur la Figure 4.

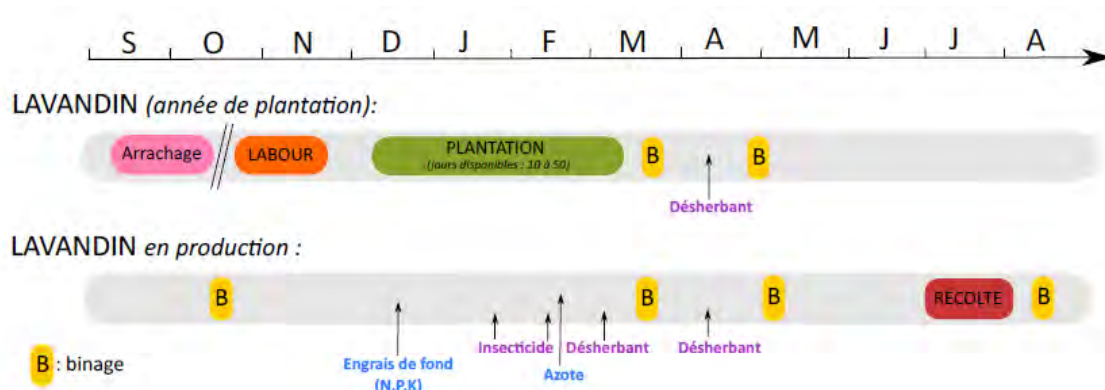


Figure 4: Itinéraire technique général du lavandin sur le plateau de Valensole. Source : Lang & Ramseyer, 2011.

En parallèle, plusieurs analyses de sol ont été effectuées sur l'ensemble du réseau Irrigation, et ont permis de caractériser les sols de chaque parcelle :

- Le laboratoire Auréa Agrosociences d'Ardon a étudié la physico-chimie classique des sols. Ces indicateurs permettent de décrire la composition et la texture du sol, ainsi que sa capacité de fournir à la plante des éléments indispensables à sa croissance. La capacité d'échange cationique (CEC), le pH, l'azote totale, et la teneur en carbone font partie des éléments mesurés.
- Le laboratoire Celesta LAB a effectué des analyses biologiques de caractérisation de la matière organique et de la biomasse microbienne. La matière organique (MO libre, et MO liée) a notamment été caractérisée.
- Enfin le laboratoire Elisol a étudié la nématofaune de chaque parcelle. Celle-ci a été recensée et leur comportement alimentaire analysé dans le but de les affilier à des groupes fonctionnels. Ainsi chaque groupe joue un rôle dans la vie du sol et nous transmet de nombreuses informations sur ses caractéristiques (Figure 5).

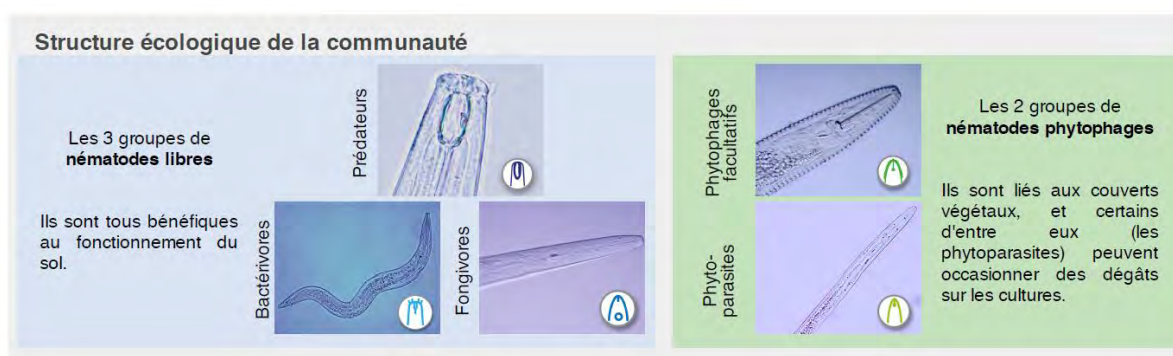


Figure 5 : Image d'une fiche explicative fournie par le laboratoire Elisol sur l'analyse de la nématofaune du sol, les différents indicateurs de suivi et les résultats.

Enfin, L'institut Méditerranéen de Biodiversité et d'Ecologie marine et continentale (IMBE) a lancé en 2019 une série de mesures de la biodiversité des arthropodes du sol sur les parcelles

irriguées et non irriguées du réseau. Cette biodiversité a été analysée à travers l'étude sur la comptabilisation des carabes et des araignées sur les parcelles.

Pour isoler spécifiquement l'effet de l'irrigation, deux zones supplémentaires ont pu être ajoutées et équipées en 2020 (Carte 4). Elles correspondent aux zones non-irriguées des parcelles déjà suivies de Roumoules 01 et de Valensole 01 (le pivot et l'enrouleur n'arrivant pas à atteindre l'intégralité de la parcelle). L'objectif de l'ajout de ces parties témoins étant de pourvoir comparer l'effet de l'irrigation en diminuant l'impact des autres facteurs (sol, climat, âge...).



Carte 4: Vue aérienne des zones non-irriguées par le matériel des parcelles Roumoules 01 et Valensole 01.

2.2 Suivi de la contrainte hydrique

De nombreuses données sur la contrainte hydrique ont pu être récoltées grâce aux outils de suivi installés sur les parcelles et au suivi terrain.

2.2.1 Les données météo

Les 11 parcelles du réseau ont été équipées sur un rang d'une station agro-météo composée d'un pluviomètre, de capteurs températures et d'hygrométrie et pour certains d'un anémomètre (Figure 6).



Le tout est relié à une station silo qui centralise les données et les télétransmet via le réseau SIGFOX sur le site SCP AGRIDATA.

Les prévisions climatiques sont également disponibles grâce au partenaire de la SCP : WeatherMeasures.



Figure 6 : Station agro-météo installée sur le rang d'une parcelle du réseau. Source : photo personnelle

Les données climatiques interviennent au quotidien dans la prise de décision des agriculteurs (traitement, irrigation, récolte...). A partir de chaque donnée, plusieurs informations peuvent être tirées et exploitées. Par exemple, à partir des données de températures, il est possible d'avoir accès aux moyennes mensuelles, aux températures maximum et minimum, où de regarder les prévisions pour les jours à venir.

Ainsi, on retrouve les indicateurs climatiques simples : **température, vent, pluie...**, et d'autres indicateurs plus complexes, issus de combinaisons d'indicateurs simples :

- Le **temps thermique** : il s'agit d'un indicateur agro-climatique. Exprimé en degré jour, il permet de calculer l'accumulation de chaleur du plant et ainsi anticiper ses stades physiologiques. Il s'agit ici de la somme des températures journalières au-dessus de 10 °C, car on estime (sur le même modèle que la vigne) que le développement du lavandin n'est actif qu'à partir de cette température (température de base).
- La **demande climatique ou l'évapotranspiration de référence** : il s'agit du pouvoir évapotranspiratif de l'atmosphère. Elle dépend de plusieurs facteurs : température, humidité relative, radiations globales et vitesse du vent. Exprimé en mm, elle est calculée en évaluant l'évaporation maximale d'un couvert végétal standard abondamment approvisionnée en eau. Elle prend en compte le coefficient cultural de la plante (kc) et l'évaporation du sol.
- Le **VPD (ou le déficit en vapeur d'eau)** : il mime l'effet four de l'atmosphère. Plus l'air est chaud et sec (humidité relative faible), plus le VPD sera élevé et plus la force

pour tirer l'eau de la plante et la faire s'évaporer au niveau des feuilles est importante. Lorsque que le VPD est trop élevé, il arrive que des bulles d'air apparaissent dans le xylème, phénomène appelé cavitation, pouvant engendrer une embolie gazeuse lorsque qu'un vaisseau est complètement obstrué. Ce phénomène limite alors l'alimentation hydrique, de sève, et de sucres pour le plant, ce qui peut diminuer sa photosynthèse et sa croissance.

- **L'indice de sécheresse** : il permet de qualifier le « degré de sécheresse ». En effet, plus il est élevé, plus les conditions climatiques sont limitantes pour le développement du lavandin. Exprimé en mm, il est calculé par la différence entre l'évapotranspiration de référence et la pluie.

2.2.2 Les données sols

La tensiométrie permet de mesurer l'état hydrique du sol au cours du temps. Elle exprime la force des liaisons entre l'eau et les particules de sol, elle est donc proportionnelle à la tension nécessaire pour extraire l'eau du sol. Plus la force exercée par la plante est forte, plus le sol est sec et donc l'eau difficilement accessible. A l'inverse, lorsque la tension est faible, le sol est plus humide et ainsi l'eau est plus facilement mobilisable par la plante. Cet indicateur nous permet de suivre le stress hydrique auquel est soumis le lavandin.

Pour cela, des tensiomètres ont été installés à côté de la station météo en deux sites : 3 sondes à 30 cm de profondeur et trois autres sondes à 60 cm de profondeur (Figure 7). Également connectés en temps réel via le silo, les données peuvent être suivies au pas de temps quotidien avec un relevé journalier.



Figure 7 : sondes tensiométriques reliées au Silo sur une parcelle du réseau, Source : photo SCP

2.2.3 Les données plantes

Afin d'élargir nos connaissances sur les mécanismes de croissance du lavandin, cinq
ROUDAUT Elise / Institut Agro / 2021

dendromètres ont été installés en mai 2020 sur trois parcelles (Figure 8) :

- Deux dendromètres positionnés sur la parcelle Valensole 01, le premier sur la partie irriguée et le second sur la partie en sec
- Deux dendromètres à Roumoules 01, avec également un premier en conditions irriguées et un second en sec
- Et pour finir un dendromètre sur la parcelle de Montagnac, en conditions irriguées.

Ces données sont collectées au pas de temps horaire sur le serveur webCOMSAG et sont également visibles sur SCP AGRIDATA. Seules les données dendrométriques de la parcelle à Montagnac et à Roumoules 01 (sec) ont pu être exploitées. Les trois autres dendromètres ont présenté des problèmes de signaux, peut-être liés à des capteurs défectueux ou à une mauvaise pose de l'outil.



Figure 8 : Dendromètre installé sur l'une des parcelles du réseau, Source : SCP

La dendrométrie offre des informations très riches sur la croissance du lavandin au cours de l'année. Elle permet également de suivre de manière assez précise la phénologie du lavandin. Ainsi plusieurs indicateurs peuvent être suivis (*Annexe 23 : Variation du diamètre d'une branche de lavandin au cours d'un stress hydrique*) :

- La croissance de la branche, c'est-à-dire le gain ou la perte de diamètre au cours d'une période donnée (journée, décade, période climatique).
- L'amplitude jour/nuit. En effet, les micro-variations du diamètre d'une branche au cours de la journée témoignent de la réponse aux phénomènes d'hydratation et de déshydratation des cellules. Au cours de la journée, le lavandin libère une partie de son eau stockée dans ses tissus pour répondre à la demande évaporative, puis, se réhydrate pendant la nuit lorsque la demande est moins forte pour retrouver sa turgescence initiale et croître. Plus le delta jour/nuit s'intensifie, plus la plante rentre en stress hydrique et plus la croissance ralentie.

- Le pourcentage de contraction pendant l'été, c'est-à-dire le pourcentage de perte de diamètre. Cet arrêt de la croissance de la branche pendant un temps donné traduit un stress hydrique.

2.2.4 Les indicateurs spectraux

Les indices spectraux permettent d'apporter des informations sur des caractéristiques du végétal au cours du temps. Grâce au Projet Innovant Télédétection mené à la SCP, plusieurs indicateurs spectraux ont pu être déterminés à partir de l'imagerie Sentinel.

Le NDVI : Lorsque l'on s'intéresse à la végétation et que l'objectif est de caractériser la quantité de biomasse photosynthétiquement active, l'un des indicateurs couramment utilisés est le NDVI (Normalized Difference Vegetative Index).

NDWI : Le NDWI (Normalized Difference Water Index) est un indicateur relatif à l'eau contenu dans la végétation. Son utilisation peut permettre de repérer et de quantifier un éventuel stress hydrique de la végétation.

NDRE : L'indice NDRE (Normalized Difference Red-Edge) est lui sensible au contenu en chlorophylle de la végétation. Il se rapproche du NDVI.

IB : Enfin, l'indice de brillance est sensible à la brillance des sols. Il permet de mettre en évidence une humidité, une rugosité ou une augmentation du couvert végétal.

La période étudiée est de mars à septembre, période la plus active du cycle du lavandin. Pour les campagnes 2019 et 2020, l'analyse des signaux s'est faite tous les 10 jours. Pour la campagne 2021, l'analyse s'est faite tous les 5 jours, avec une résolution spatiale de 10 mètres.

2.2.5 Les données irrigation

Les pratiques des irrigants ont été recensées via des enquêtes afin de connaître le matériel, les doses apportées, les tours d'eau, l'origine de l'eau, et les stratégies d'irrigation.

Au cours des campagnes, les irrigations étaient détectées via le pluviomètre installé sur les parcelles, mais aussi via des échanges téléphoniques ou les rencontres terrain.

2.2.6 L'outil SCP AGRIDATA

Face à toutes ces données : climatiques, sol, plantes, pratiques agricoles, la SCP a développé en partenariat avec Fruition Sciences, une application web : SCP AGRIDATA (Figure 9).

Modalités de suivi

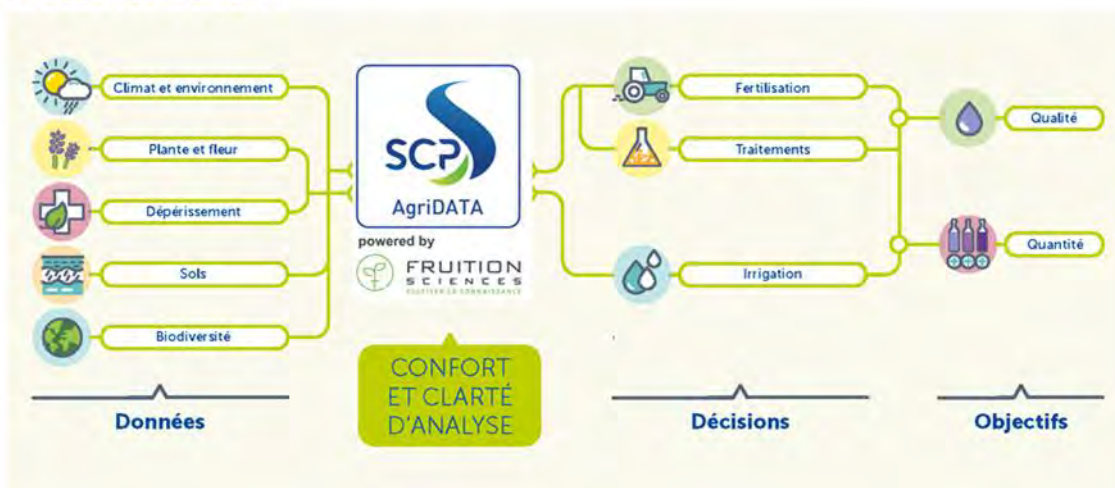


Figure 9: Objectifs de l'outil SCP AgriData

Développé initialement pour la vigne, cet outil permet de collecter l'ensemble des données brutes sur une seule interface personnalisable, pour faciliter le suivi et le pilotage des cultures.

Les données météo sont disponibles en temps réel (*Annexe 11 : L'outil SCP AgriData*) et les indicateurs peuvent être répertoriés sur des « tableaux de bord » pour faciliter leur suivi et leur interprétation.

2.3 Les indicateurs de performances

2.3.1 Indicateurs de suivi du développement du lavandin

Au cours de la campagne 2021, un suivi terrain a été mis en place afin de suivre au champ le développement végétatif du lavandin. Ce suivi a permis de compléter l'ensemble des informations de croissance (dendrométrie, NDVI) avec des mesures réalisées sur le terrain.

Protocole de suivi :

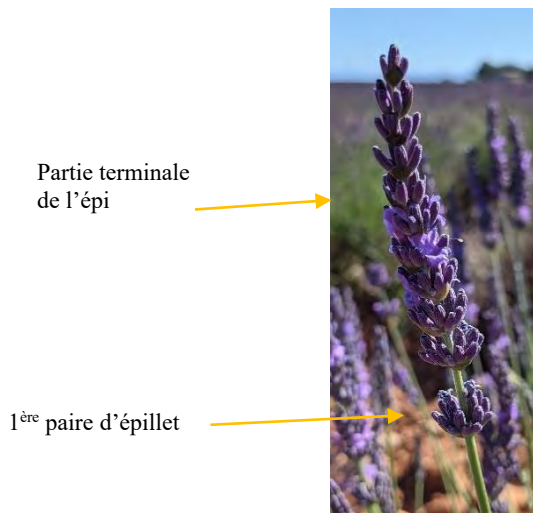
L'état initial des plants a dans un premier temps été mesuré. Pour se faire, une placette de 10 plants a été délimitée sur trois rangs autour de la station météo (*Annexe 12 : Placette de suivi du développement*).

Dans un premier temps, la longueur, la largeur et la hauteur des 10 plants ont été mesurées pour calculer le volume initial des plants⁶. Cette mesure s'est faite le 13 et 14 avril 2021, au début du réveil végétatif des plants avec l'arrivée des premières feuilles de printemps. Il s'agit donc du stade initial du plant.

Parmi ces 10 plants, 4 plants ont été suivis, environ tous les 10 jours, jusqu'à la floraison. Pour faciliter les mesures terrains, et conserver une répétition, 10 mesures aléatoires de hampes étaient réalisées par plants pour chaque caractéristique suivie. Le taux de floraison étant très difficile à comptabiliser sur le terrain (la durée de vie d'une fleur étant de 24 à 48 heures),

⁶ Le volume du plant correspond à un demi-ellipsoïde.

d'autres indicateurs ont été mesurés comme la longueur de l'épi et le nombre d'épillet donnant un indice sur le nombre potentiel de fleurs sur l'épi.



- La taille des premières **feuilles** de printemps
- La longueur de la **hampe**, à partir de la 1^{ère} paire de feuille de printemps jusqu'à l'extrémité de l'épi.
- La longueur de l'**épi** et la longueur de sa **partie terminale** : l'épi de lavandin comprend une partie terminale où les épillets sont relativement serrés les uns sur les autres et, à une certaine distance de la base, une première paire d'épillets isolées, en général très fournies en calices (E.Barbier, 1963).
- Le nombre d'**épillet**, soit le nombre d'étage de calices.

Avant la récolte de l'intégralité des parcelles, les plants suivis ont été récoltés. Les hampes ont été pesées afin d'obtenir le poids frais par plant. Un bilan de l'état sanitaire a également été réalisé en se basant sur le protocole du CREIPPAM afin de constater l'évolution du dépérissement.

2.3.2 Indicateurs de suivi de la quantité et de la qualité de la production

Pour les campagnes de 2019 et 2020, un partenariat avec le CRIEPPAM a permis de définir des indicateurs de production pour chaque parcelle. Huit longueurs de 5 m par parcelle ont été récoltées autour de la station météo de la SCP.

La récolte de ces 8 placettes a ensuite été distillée dans une cuve de 400 L.

Le protocole de récolte du CRIEPPAM permet de dégager 5 paramètres de récolte :

- **Le poids frais** : les hampes florales ont été coupées et directement pesées.
- **Le poids de matière sèche** : la biomasse fraîche est placée dans une étuve afin de retirer l'eau présente dans les tissus, afin d'arriver à une humidité nulle contrôlée.
- **La teneur en huile essentielle** : elle exprime la quantité en kilogramme d'huile essentielle par kilogramme de matière sèche.
- **Le rendement en huile essentielle** : il s'agit de la quantité finale d'huile essentielle dans l'échantillon distillé. Il est exprimé en kg/10 mètres linéaires, et est ramené en kg/hectare.
- **La qualité de l'huile essentielle** : la qualité de l'huile est déterminée par un laboratoire partenaire à partir des échantillons de la distillation des récoltes. Il effectue des chromatographies sur ceux-ci, permettant de constater des différences entre parcelles

et de s'assurer qu'elles rentrent dans la norme AFNOR Grosso⁷.

Enfin, le **volume des plants post-récolte** a été calculé à partir de la longueur, la largeur et la hauteur des plants. Exprimé en dm³, cette évaluation permet d'avoir une référence mesurée de cet indicateur visuel, souvent utilisé par l'agriculteur comme étant un gage de réussite de la culture.

2.3.3 Indicateurs du taux de dépérissement

Le CRIEPPAM a également évalué l'état sanitaire pour la campagne 2019 et 2020 de chaque parcelle au moment de la récolte. Pour se faire, deux notes de 1 à 4 (1 : sain, 2 : peu dépérissant, 3 : très dépérissant, 4 : mort) ont été attribuées à chaque plant (Figure 10). La première est relative uniquement aux symptômes de dépérissement lié à la bactérie du Stolbur qui occasionne 46 % des symptômes de dépérissements (Danet et al, 2010) et qui est le principal problème sanitaire du lavandin (C. Yvin et al. 2017). La deuxième note est relative à l'ensemble des symptômes observables sur le lavandin (sécheresse, gel, ravageurs, Stolbur...).



Figure 10 : Modèle de notation utilisé : note de 1 (sains) à 4 (mort), Source : CRIEPPAM.

2.4 Méthode d'analyse des résultats

L'ensemble des données collectées a permis de disposer de nombreux indicateurs de suivi (sol, plantes, climat...) afin de comparer les trois années et les différentes modalités des parcelles. Néanmoins, la valeur de ces indicateurs reste très relative à leur positionnement dans la saison. L'entreprise Fruition Sciences a ainsi développé pour la vigne une méthode d'analyse selon un découpage du millésime en périodes agro-climatiques spécifiques. En effet, il est intéressant de mettre en place un calendrier d'interprétation des indicateurs afin de contextualiser les valeurs pour mieux les interpréter. Cette méthode permet, in fine, l'aide à la décision de la date et de l'intensité de certaines opérations culturales, pour être au plus proche des besoins et assurer une meilleure rentabilité. Aussi, la première étape de l'analyse a constitué à la mise en place d'un

⁷ La présente norme spécifie certaines caractéristiques de l'huile essentielle de lavandin Grosso, cultivé dans le sud de la France, destinées à faciliter l'appréciation de sa qualité. (Boutique AFNOR Editions | Normes & Recueils | NF T75-304 Octobre 1992).

calendrier spécifique au lavandin. Dans un second temps, le contexte météorologique des campagnes de suivi a été caractérisé ainsi que les irrigations effectuées.

L'analyse des résultats s'est ensuite faite en plusieurs temps. L'impact de l'irrigation sur le développement du lavandin a tout d'abord été étudié par le suivi de la cinétique de croissance, avec des comparaisons statistiques entre parcelles irriguées et parcelles en sec. L'effet de l'irrigation sur la production a également été étudié par des comparaisons statistiques annuelles et interannuelles de moyenne entre parcelles irriguées et sec pour :

- Le rendement : quantité et qualité de l'huile essentielle
- La santé de la parcelle
- Le volume des plants en post-récolte
- Les analyses de sol

Enfin, les interactions entre les indicateurs de suivi de la contrainte hydrique, et leur corrélation ont été étudiés, afin de déterminer les forces et faiblesses de certains outils dans la gestion du pilotage de l'irrigation :

- La tensiométrie
- La dendrométrie
- La donnée spectrale NDVI

Les comparaisons statistiques des moyennes ont été réalisées par des tests de Student (bilatéral, et unilatéral) avec un seuil significatif p-value < 0.05.

3 Résultats

3.1 Calendrier cultural du lavandin

Un calendrier spécifique à la culture du lavandin a été défini. Rythmé par les grandes étapes de sa phénologie, il a été construit en s'appuyant sur la cinétique des dendromètres installées, sur les observations terrain, et sur les travaux de thèse de Lia Lamacque et de la thèse de E.Barbier.

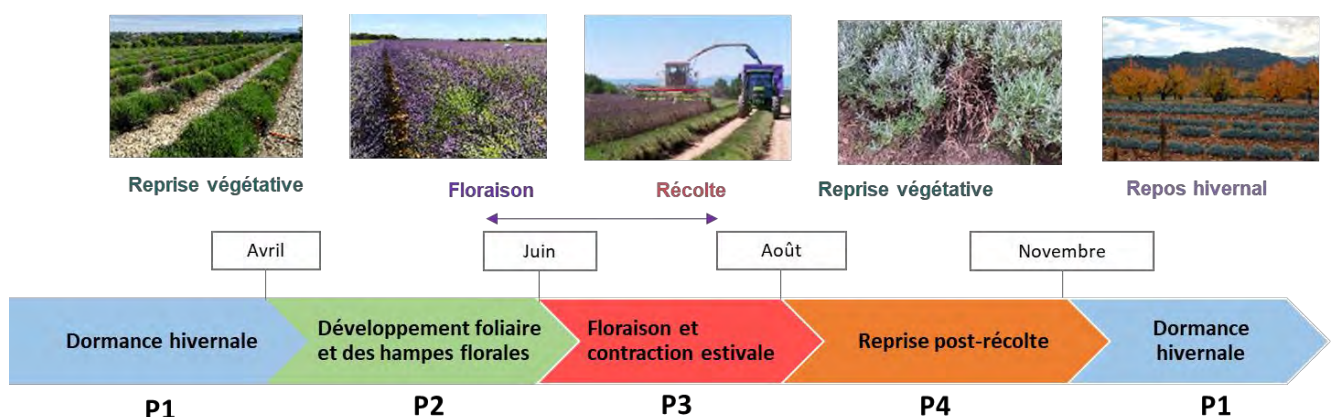


Figure 11 : Calendrier avec périodes agro-climatiques du lavandin

La croissance végétative du lavandin au cours d'une saison peut-être ainsi déclinée en **quatre périodes** « agroclimatiques » (Figure 11) :

- P1 correspond à la **dormance**, pendant l'hiver et jusqu'à la reprise végétative en avril. Au cours de cette période, la pluie et les températures peuvent affecter la disponibilité en éléments assimilables. Les besoins en vernalisation sont également importants pour la floraison.
- P2 correspond à la **période de développement foliaire et des hampes florales** au printemps. Dès le mois d'avril, les jeunes pousses d'automne vont reprendre leur développement. Les hampes vont s'allonger, d'abord lentement puis de façon très active, grâce à la chaleur et à l'eau qui sont le moteur de cette croissance. Les gelées tardives sont un risque au cours de cette période.
- P3 correspond à la période de **floraison et de contraction estivale**, de juin à la récolte en mi-juillet. Après avoir atteint les pics d'allongement journalier au mois de mai, le développement des hampes est moins rapide, et laisse place au développement de l'épi et à la formation des calices. En se déshydratant, les hampes se consolident et deviennent plus rigides. Cette phase est marquée ensuite par la floraison, et est suivi par un arrêt de l'augmentation du diamètre journalier du plant en réponse à la sécheresse, qu'on appellera contraction estivale. Aussi, une sécheresse trop importante et une VPD trop élevée peut endommager la floraison.
- P4 correspond à la **reprise automnale**, après la récolte, avec la reprise de la croissance végétative, soit après une irrigation post-récolte, soit plus tard en septembre avec le retour des précipitations.

Ainsi les besoins nécessaires au bon développement des composantes de rendement mais aussi les risques pouvant les impacter sont identifiés par période dans la

Figure 12.

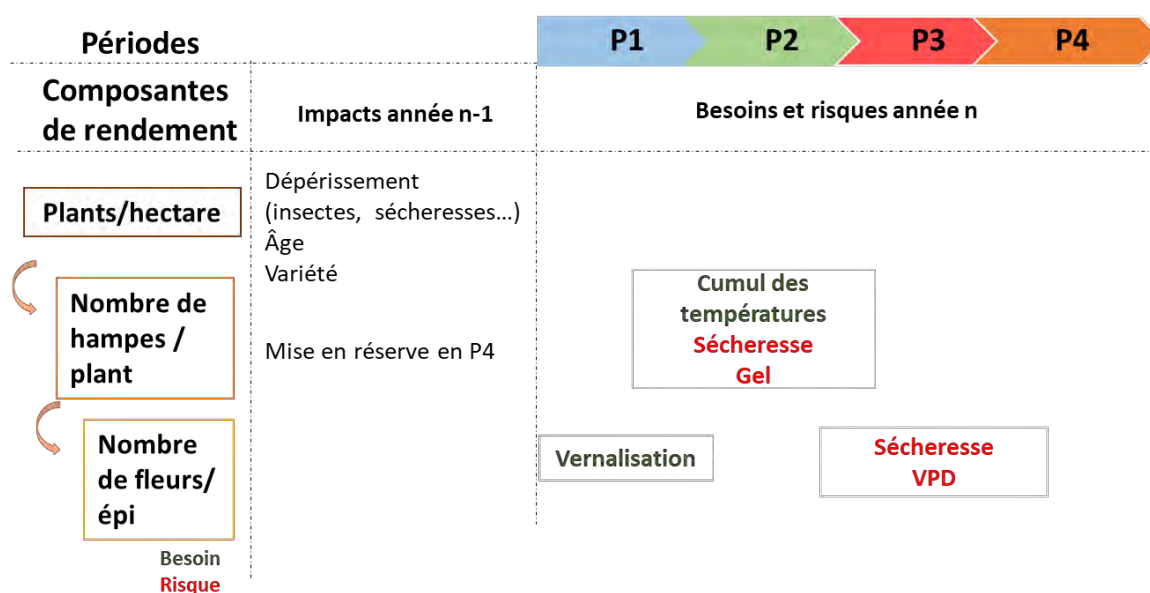


Figure 12 : Besoins et risques impactant le développement des composantes du rendement du lavandin au cours de chaque période.

La culture de lavandin étant une culture pluriannuelle sur 8 à 10 ans, l'effet pluriannuel est important à prendre en compte, notamment pour la densité des plants qui est impactée au fil des campagnes par le dépérissement et l'âge.

Pour faciliter les interprétations, les campagnes sont divisées en 4 périodes et 37 décades (Tableau 3) (*Annexe 13 : Répartition des dates par décade pour les 3 campagnes*).

Période	Date	Décade
1	1 novembre au 31 mars	D1 → D16
2	1 ^{er} avril au 31 mai	D17 → D22
3	1 ^{er} juin au 31 juillet	D23 → D27
4	1 ^{er} août au 31 octobre	D28 → D 37

Tableau 3 : Répartition des décades par période sur une campagne

Chaque année météorologique est unique. Ainsi, les dates de périodes fixées dans le calendrier ne sont pas toujours les dates exactes des différentes étapes du développement. Leur durée peut ainsi varier selon les contextes.

3.2 Caractérisation des contextes météorologiques et des pratiques d'irrigation

3.2.1 Des contextes météorologiques différents

Les trois campagnes se caractérisent par des conditions météorologiques distinctes. Les cumuls de précipitations et de temps thermique moyens sont présentés dans le Tableau 4. Les précipitations et la teneur en eau des sols sont représentées en *Annexe 14 : Evolution de la teneur en eau dans le sol et des précipitations*.

Campagne	Cumul des précipitations et de temps thermique			
	P1	P2	P3	P4
2018-19	NA	138 mm 225 °J	64 mm 619 °J	185 mm 823 °J
2019-20	330 mm 121 °J	217 mm 336 °J	34 mm 525 °J	170 mm 777 °J
2020-21	206 mm 155 °J	196 mm 257 °J	25 mm 464 °J	NA
Normales de saisons	304 mm NA	140 mm 132 °J	70 mm 596 °J	175 mm 639 °J

Tableau 4: Résumé des cumuls de précipitations et de temps thermiques : moyennes de l'ensemble des parcelles du réseau. Source : données SCP Agridata pour les 3 campagnes de suivi. Pour les normales de saisons, données Météo France, moyenne 1981-2010

La campagne 2018-2019 (notée 2019) est caractérisée par les éléments suivants :

- Une faible pluviométrie hivernale (janvier à mars : 170 mm) associée à des températures douces ;
- Des précipitations en avril et en mai (138 mm en moyenne) identiques aux normales de saisons qui ont permis de recharger les sols en eau à 80% ;
- Un épisode de canicule en juin, peu de précipitations jusqu'à septembre, associées à de fortes chaleur (temps thermique élevé en P3).

La campagne 2019-2020 (notée 2020) est caractérisée par :

- Un hiver assez pluvieux (+8 % par rapport aux normales de saison) associé à des températures plutôt douces
- Des précipitations tardives jusqu'à mi-juin suivi d'un été relativement sec (34 mm contre 70 mm pour les normales) et chaud.

Enfin, **la campagne 2020-2021 (notée 2021)** a présenté :

- Un hiver marqué par un déficit hydrique : 33 % de précipitations de moins que les normales de saison, et par des températures douces
- Un retour des précipitations en avril permettant de compenser en partie le déficit en pluviométrie de l'hiver (teneur en eau à 96 % en mai).
- Des températures toujours en retrait par rapport à 2019 et 2020 au printemps et en été.

L'année 2020 est considérée comme une année référence, avec un climat très propice au bon développement du lavandin. En effet, les irrigations tardives jusqu'en juin ont permis de subvenir aux besoins des plants.

Il est important de noter qu'au sein même du réseau de parcelles, des hétérogénéités climatiques se font ressentir dû à la géographie et à l'altitude.

3.2.2 Les irrigations

Les irrigations réalisées au cours des trois campagnes sont résumées dans le Tableau 5. Des taux de recours : $\frac{\text{parcelles irriguées}}{\text{parcelles équipées}}$ ont également été calculés pour chacune des périodes.

	P3			P4		
Moyenne des irrigants	Volume d'irrigation	Nombre de tours d'eau	Taux de recours	Volume d'irrigation	Nombre de tours d'eau	Taux de recours
2019	53 mm	3.2	100 %	31 mm	1.3	100 %
2020	-	-	-	14 mm	1	83 %
2021	57 mm	1.7	83 %	NA	NA	NA
Moyenne	55 mm	2,5	61 %	23 mm	1,2	92 %

Tableau 5: Résumé des irrigations sur les 6 parcelles irriguées. L'irrigation post-récolte en phase 4, a été prise en compte à partir du 16 juillet, date moyenne des récoltes pour les 3 campagnes.

Les apports sont limités sur les parcelles, avec au maximum 3 à 5 irrigations par campagne. Ils sont ciblés sur la fin du mois de mai et le mois de juin avant la récolte puis, en juillet/août après la récolte.

Sur l'ensemble des irrigants du réseau, chacun a réalisé au moins une irrigation au cours des trois ans. Elle n'est cependant pas systématique avant la récolte avec un taux de recours moyen de 61 % en P3. En effet, elle dépend du contexte météorologique de la campagne. Par exemple, l'année 2020 a été marquée par des pluies tardives en juin ne nécessitant pas de besoin d'irrigation avant la récolte. Une irrigation post-récolte en P4 est cependant presque toujours réalisée (taux de recours de 92 %) permettant d'assurer la reprise végétative pour la prochaine campagne.

L'irrigation est donc modérée et dépend du contexte météorologique. Les besoins en eau moyen du lavandin peuvent ainsi être estimés **entre 80 mm (année moyenne) et 120 mm (année sèche)**.

3.3 Impacts de l'irrigation sur les performances agronomiques du lavandin

3.3.1 Impacts de l'irrigation sur la croissance et les composantes de rendement du lavandin

Le développement des composantes du rendement

Le suivi de la croissance en 2021 a permis de surveiller les composantes de rendement pour chaque parcelle. Les résultats finaux sont présentés dans le Tableau 6.

	Moyenne en irrigué	Moyenne en sec
Volume des plants	91 dm ³ (± 23 dm ³)	73 dm ³ (± 12 dm ³)
Longueur des feuilles	4,7 cm (± 1.8 cm)	4,5 cm (± 0.5 cm)
Longueur des hampes	47,4 (± 3.5 cm)	45,3 cm (± 2,6 cm)
Longueur de l'épi	8,8 cm (±0.9 cm)	8.6 cm (±0.5 cm)
Nombre d'étage de verticilles	11,1 (± 0.9)	10,5 (±0.5)

Tableau 6 : Moyenne des composantes du rendement suivies en 2021 pour les parcelles en sec et en irrigué.

La taille des indicateurs a tendance à être plus élevée pour les parcelles irriguées que pour les parcelles au sec, même si les résultats ne sont pas significatifs. Les parcelles avec témoin présentent également la même tendance.

La cinétique de développement des hampes est représentée sur le Figure 13 et pour chaque parcelle en *Annexe 15 : Graphiques du suivi terrain 2021*.

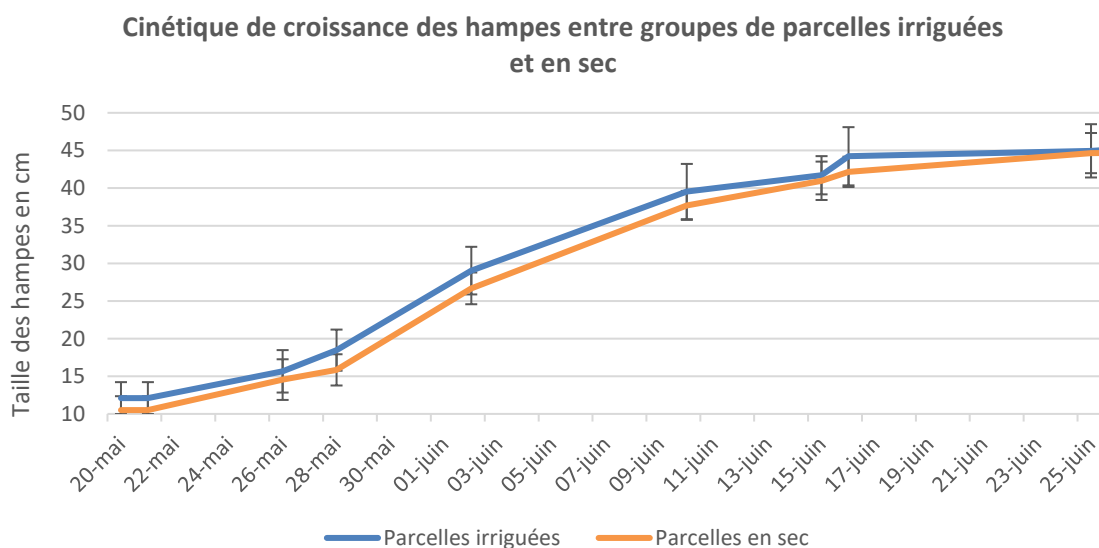


Figure 13 : Cinétique de croissance des hampes entre parcelles irriguées et en sec. Les mesures ont été effectuées sur 40 hampes réparties sur 4 plants, toutes les décades.

La cinétique de développement des hampes présente un début de croissance plutôt faible avant le pic de développement fin mai, jusqu'à arriver sur un plateau mi-juin correspondant au début de la floraison. La longueur des hampes au cours de la croissance a tendance à être supérieur chez les parcelles irriguées tout au long du développement. Cette différence pourrait s'expliquer par l'effet pluriannuel de l'irrigation effectuée après la récolte en P4. En effet, elle pourrait exercer une influence sur la taille du plant et par conséquent sur la longueur des hampes.

L'irrigation ne semble pas impacter la précocité de développement qui dépend de la température avec un gradient Nord-Ouest < Sud-Est sur le plateau.

La reprise post-récolte des plants Le volume mesuré est exprimé en dm³ et les résultats sont représentés (*Annexe 16 : Volume moyen post-récolte des plants sur l'ensemble des parcelles—Figure 1 et 2*). L'absence de corrélation apparente entre l'âge de la parcelle et le volume des

plants suggère qu'un autre élément influence plus fortement sur la croissance des plants (effet probablement dû à la hauteur de coupe) (Criepam, 2020). Le groupement par catégorie irrigué ou en sec est représenté en *Annexe 16 : Volume moyen post-récolte des plants sur l'ensemble des parcelles – Figure 3*.

On remarque une hétérogénéité marquée au sein des groupes avec des écart-types importants, en particulier pour le groupe « irrigation ». Ces résultats ne suggèrent aucune différence significative entre les groupes (2019 : Student ; p-valeur = 0.9317 et 2020 : p-valeur = 0.8496).

Si l'on compare les parcelles avec un témoin au sec (*Figure 14*), on observe une forte différence entre la modalité irriguée et en sec sur la parcelle Valensole 01 avec significativement plus de volume dans la modalité irriguée (Anova, p-valeur = 6,25e-06), (Criepam, 2020). Toutefois, on ne constate pas de différence significative sur la parcelle Roumoules 01 sec entre les deux modalités malgré une légère tendance en faveur de l'irrigation. Il est difficile de conclure quant à l'effet de l'irrigation avec une seule des deux parcelles ayant un résultat significatif positif.

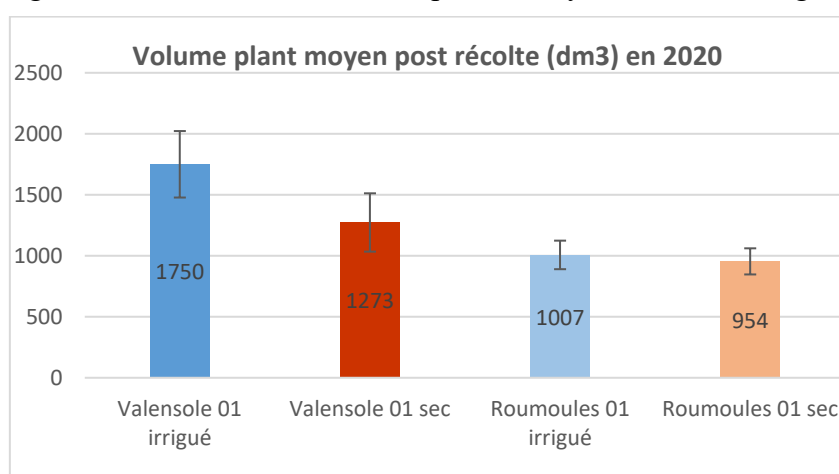


Figure 14 : Volume des plants en post-récolte en dm³. Source : données brutes issus du Criepam

3.3.2 Impacts de l'irrigation sur le rendement du lavandin

Les indicateurs de rendements sont représentés dans le Tableau 7. Les données production ont été déterminées pour la campagne 2021 après le suivi du développement des plants (*Annexe 17 : Résultats de la production pour la campagne 2021*). L'indicateur de biomasse fraîche sur 10 mètres (kg/10 mètres linéaire) a été calculé par extrapolation des poids frais des plants récoltés.

Indicateurs	2019		2020		2021	
	Irrigué	Sec	Irrigué	Sec	Irrigué	Sec
Poids frais (kg) / 10 mètres	21,6 (± 4)	14,3 (8,9)	24,7 (± 5)	19,6 (±7,9)	17 (±7,5)	12,8 (±5,5)
Poids sec (kg) / 10 mètres	9,5 (±0,5)	6,5 (±4,1)	8,6 (±1,6)	6,8 (±2,8)	NA	NA
Teneur en HE (ml)/ kg de matière sèche	89,5 (±26)	89,4 (±28)	186 (±47)	163 (±86)	NA	NA
Rendement en HE (ml)/10 mètres	340 (±72)	200 (±109)	453 (±61)	371 (±144)	NA	NA

Tableau 7 : Moyenne des indicateurs de rendements entre parcelles irriguées et au sec pour les 3 campagnes de suivi.

Les résultats de production sont marqués par une grande hétérogénéité entre toutes les parcelles qu'elles soient irriguées ou en sec. Ce résultat se retrouve pour les quatre indicateurs de récoltes étudiées (poids frais, poids sec, teneur en huile essentielle et rendement en huile essentielle). Ces différences de rendements s'expliquent notamment par les contraintes abiotiques (disponibilité en eau et en azote) ainsi que par les contraintes biotiques (dépérissement, adventices). Aussi, l'âge des parcelles, la variété, les itinéraires techniques, le contexte météorologique et le dépérissement sont des facteurs qui influent sur la production.

De façon générale, la production a tendance à être plus forte pour tous les indicateurs sur les parcelles irriguées, notamment en 2019. En effet, le rendement en essence par exemple, est statistiquement plus important (+ 41%) pour les parcelles irriguées pour la campagne 2019 (Student ; p-valeur = 0.0228), année marquée par plusieurs irrigations. En 2020, on remarque également une tendance en faveur de l'irrigation (+ 18%) avec une plus faible dispersion des rendements, bien que la différence entre moyenne irriguée et sec ne soit pas significative (Student ; p-valeur = 0.1027) (*Annexe 18 : Résultats de la production-Figure 1*). Cette tendance semble cohérente car la campagne 2020 n'a pas nécessité d'irrigation, aussi la différence entre parcelles irriguées et en sec est plus modérée.

Afin de pallier aux caractéristiques liées à la parcelle, les indicateurs production des deux parcelles irriguées avec un témoin en sec ont été comparés (Figure 15).

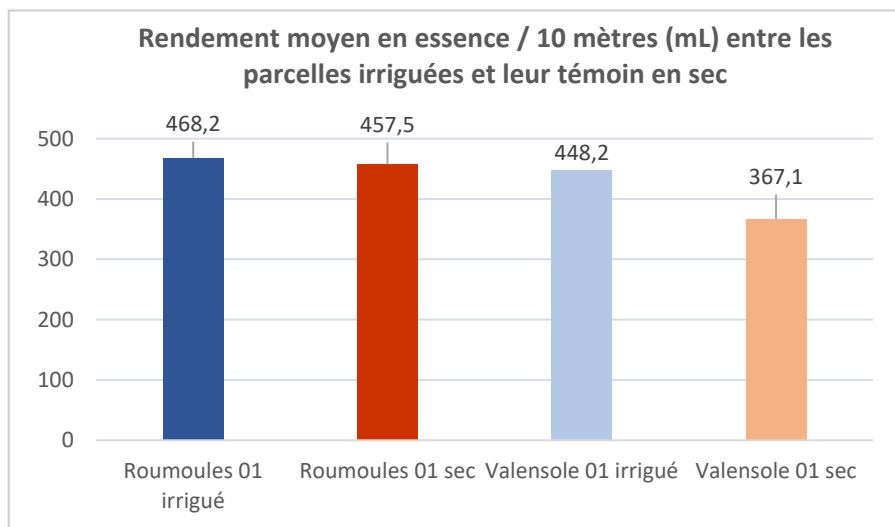


Figure 15 : Rendement en huile essentielle sur les parcelles avec témoin pour la campagne 2020. Source : graphique effectué à partir des données du Crieppam.

La partie en sec semble encore une fois moins produire que la partie irriguée, surtout sur la parcelle Valensole 01. On y observe sur les parcelles irriguées, une production plus forte de matière fraîche (+31 % à Valensole et + 26 % à Roumoules), et de matière sèche (+11 % pour les deux parcelles irriguées). Concernant la teneur en essence, elle est plus faible sur la parcelle de Roumoules 01 sec. A l'inverse, la parcelle Valensole 01 sec présente une teneur supérieure à la partie irriguée. Pour terminer, le rendement moyen en essence est plus élevé avec l'irrigation dans une parcelle (Valensole 01) mais l'effet n'est quasiment pas marqué dans l'autre parcelle (Roumoules 01) (Figure 15). Dans l'essai du Crieppam en 2006, l'irrigation n'influaient pas sur la teneur en essence, et le rendement augmentait significativement avec l'irrigation à hauteur d'1 ou 2 arrosages en juin (CRIEPPAM, 2006). La tendance pour 2020 va donc dans le même sens, mais les contextes climatiques étant différents⁸, il est difficile de tirer des conclusions quant à l'impact de l'irrigation. Les parcelles n'ayant pas été irriguées avant la récolte en 2020, les irrigations post-récolte pourraient également influencer sur cette différence de rendement.

Pour étudier plus précisément le rôle de l'irrigation dans la variabilité des rendements observés, une régression a été réalisée pour mettre en regard le rendement d'huile essentielle avec la quantité d'eau totale (précipitations et irrigations) reçue sur la parcelle au cours la P2 et P3 des campagnes 2019 et 2020 (*Annexe 19 : Rendement en huile essentielle en fonction de la quantité d'eau reçue*). Le lien entre les deux paramètres s'avère trop faible pour conclure sur l'impact de l'eau sur le rendement, même si en 2019, les meilleurs rendements sont obtenus sur les parcelles ayant reçu le plus de cumul d'eau.

D'autres facteurs sont donc importants à prendre en compte (sol, conditions météorologiques, fertilisation, protection des cultures, technicité de l'agriculteur...). L'âge ici n'influe pas toujours sur le rendement.

⁸ Année 2006 particulièrement sèche, alors que 2020 est considérée comme référence optimale sur le point de vue climatique, et aucune irrigation avant la récolte n'a été effectuée.

3.3.3 Impacts sur la qualité de l'huile essentielle

Les comparaisons des compositions des huiles essentielles ont présenté peu de différences entre les parcelles irriguées et les parcelles au sec et l'ensemble des parcelles restent conformes aux normes AFNOR. Les résultats sont présentés en *Annexe 20 : Analyse de la qualité de l'huile essentielle- figure 1 et 2* pour les campagnes 2019 et 2020.

Le Butyrate Hexyle apparaît faible en teneur par rapport à la norme pour les deux campagnes. Il s'agit d'un facteur de maturité. Cela s'explique par la récolte plus précoce lors de l'expérience avant celle des agriculteurs expliquant ce faible taux de constituant. Concernant l'Acétate de linalyle, plus une plante est sèche et plus ce composant a tendance à être élevé. Ici, le taux élevé s'explique par les 24 heures de pré-fanage avant la distillation diminuant la teneur en eau de la plante⁹. Pour finir, en 2019, les taux de linalol étaient un peu faibles sur une majorité de parcelles mais restaient tout de même conforme à la norme.

La composition de l'huile essentielle entre parcelles irriguées et son témoin en sec a été étudiée (*Annexe 18 : Résultats de la production- figure 2*). Plusieurs variations sont constatées entre les parties irriguées et en sec, mais elles ne vont pas systématiquement dans le même sens entre les deux parcelles. Le Lavandulol se montre légèrement plus bas avec l'irrigation, dans les parcelles avec témoin en parallèle d'une augmentation de l'Acétate de Linalyl. Mais là encore, la variation est très faible par rapport à la norme. N'ayant pas de répétition, aucune statistique n'est possible, mais ces variations ont été comparées aux données de l'essai réalisé par le Crieppam en 2006. Seulement deux composés se comportent de manière similaire en 2020 : l'alpha terpinéol augmente avec l'irrigation et le limonène diminue avec l'irrigation. Les autres composants ne varient pas dans les mêmes directions, l'effet que pourrait avoir l'irrigation sur la qualité des huiles essentielles est donc à relativiser et demande de nouvelles expérimentations.

3.3.4 Impacts sur le taux de dépérissement du lavandin

Globalement le taux de dépérissement des plantes est très variable selon les parcelles. On constate bien la pression du dépérissement, notamment sur les parcelles situées au nord du plateau (parcelles situées à Puimoisson, et à Valensole) avec jusqu'à 10 % de plants malades. La notation de la santé globale des plants relate la présence de symptômes autres¹⁰ que le dépérissement lié à la bactérie du Stolbur, avec des pourcentages de plants malades plus importants (*Annexe 21 : Taux de dépérissement- figure 1, 2 et 3*).

Afin d'identifier une certaine relation entre le dépérissement, l'âge de la parcelle, et l'irrigation, les parcelles ont été réparties par âge et par conduite sur le graphique de la Figure 16. Il est difficile de tirer des conclusions quant à l'influence de l'âge et de l'irrigation sur la santé des parcelles même si moins de plants malades sont relatés sur les parcelles irriguées de 4 et 5 ans.

⁹ La norme se base sur une distillation en frais.

¹⁰ Symptômes associés à des maladies, à la sécheresse ou encore à des phénomènes encore inconnus.

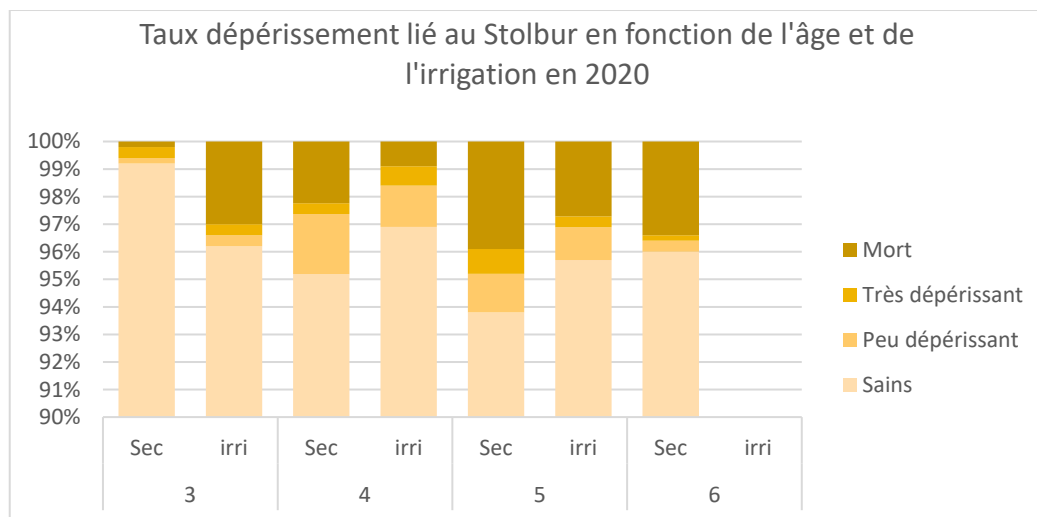


Figure 16 : Taux de dépérissement en fonction de l'âge et de la conduite de la parcelle

On remarque plusieurs évolutions des symptômes entre 2019 et 2020. Pour une partie des parcelles, l'évolution tend vers une augmentation globale des plants dépérisissant. Pour d'autres, on note une évolution soit vers des symptômes plus graves (très dépérisissant, ou mort), ou à l'inverse, vers un meilleur état. En effet, il est possible que l'année 2020, année climatique très favorable aux lavanderaies avec très peu de stress hydrique et thermique, ait favorisé l'hypothèse d'effet de rémission de symptômes comparé à une année très stressante d'un point de vue hydrique et thermique comme 2019.

Concernant les deux parcelles avec témoin en conditions non irriguées, aucune différence significative n'apparaît entre les deux modalités s'agissant des symptômes type Stolbur (Figure 17), même si une tendance générale indique plus de plants morts sur la modalité en sec. Concernant la santé globale, l'irrigation semble limiter le dépérissement sur la parcelle de Valensole, mais le constat est inversé sur la parcelle de Roumoules 01.

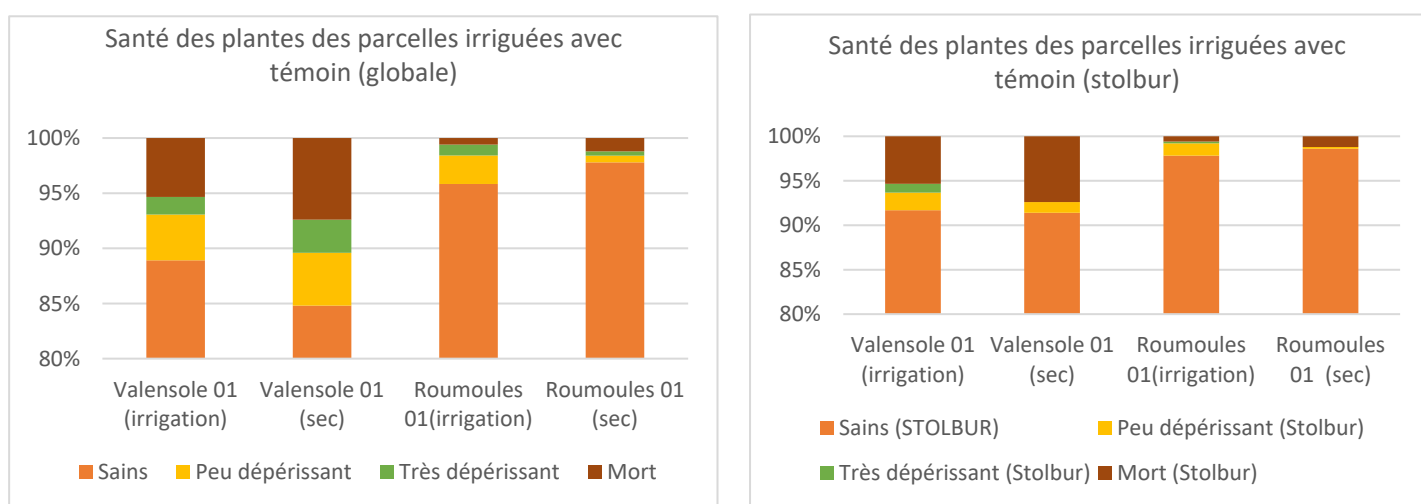


Figure 17 : Santé des plants (globale) et santé des plantes liée au dépérissement à stolbur pour les deux parcelles avec témoin en 2020.

Au regard de la variabilité du taux de dépérissement sur les parcelles, les effets de l'irrigation sont encore à étudier sur le plus long terme afin de mieux comprendre les impacts sur la pérennité de la culture.

3.4 Quels outils à suivre pour anticiper les périodes de stress hydrique et adapter les irrigations ?

Plusieurs outils ont été utilisés pour suivre différents indicateurs par période à savoir : le tensiomètre, le dendromètre et les indices spectraux par la télédétection. Ainsi, chaque outil a été étudié sur sa pertinence à répondre à un besoin, pour la conduite de l'irrigation ou pour d'autres opérations culturales.

3.4.1 Le tensiomètre

Le tensiomètre est un outil accessible qui permet de suivre au pas de temps journalier le niveau de recharge et d'assèchement en eau des sols. Il s'avère particulièrement utile pour prévenir un stress hydrique au cours de la période 2 et 4, et ainsi adapter l'irrigation en cas de tension trop élevée.

Néanmoins, il ne permet d'identifier la date de la rentrée en contraction estivale vécu par le plant en P3, phénomène important à surveiller et à limiter dans le temps (*Annexe 22 : Relation entre la dendrométrie et la tensiométrie*).

Le tensiomètre semble également peu adapté pour piloter l'irrigation au cours de la P3, notamment lors de campagne très sèche comme en 2019 où la réponse aux apports est difficilement visible (Figure 18). En effet, les racines du lavandin peuvent descendre jusqu'à un mètre dans le sol, or les sondes des parcelles du réseau sont installées à 60 cm de profondeur. Aussi, dans le cas cette étude, aucune indication n'est disponible quant à la capacité de la plante à puiser de l'eau au-delà de 60 cm.

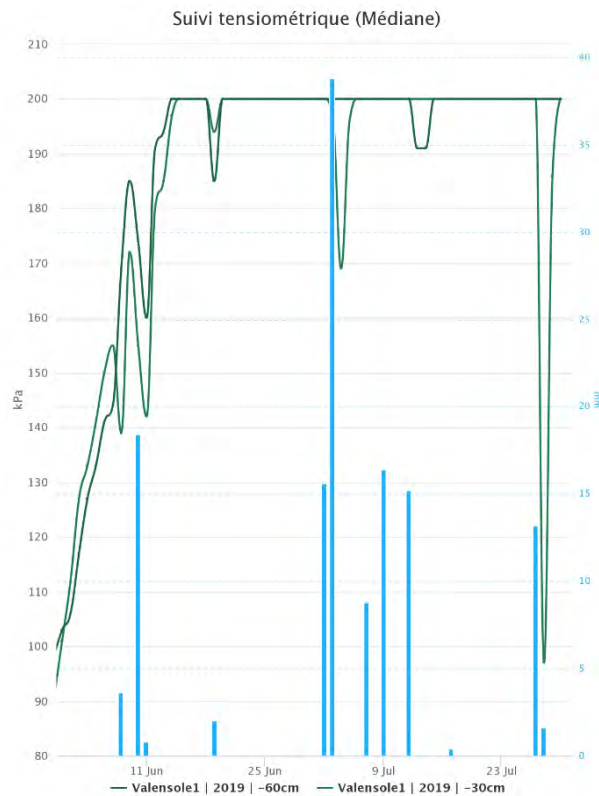


Figure 18 : Données issues des tensiomètres de la parcelle de Valensole 01 au cours de la période 3 (de juin à juillet) de la campagne 2019. Source : graphique SCP AgriData.

Le tensiomètre s'avère donc être un outil pertinent pour suivre la disponibilité en eau en P2 et P4 et ainsi ajuster son irrigation, toutefois c'est un outil qui se montre sensible et partiel, rendant compte de l'état globale du sol et non de la physiologie de la plante. Ainsi, il peut être intéressant de le compléter par un dendromètre pour permet de suivre la réponse du plant au stress.

3.4.2 Le dendromètre

Il est possible de suivre l'importance du stress hydrique subi par la plante par l'évolution du diamètre des tiges qui est corrélé négativement à l'intensité du déficit hydrique subie (Améglio et al., 2015). Ce suivi des variations met en exergue les 4 périodes phénologiques identifiées dans le calendrier culturel : la croissance végétative en avril (1), la contraction du diamètre pendant la période estivale jusqu'à la récolte (2), la reprise de la croissance (3) et pour finir, la stagnation du diamètre pendant l'hiver (4) (Figure 19).

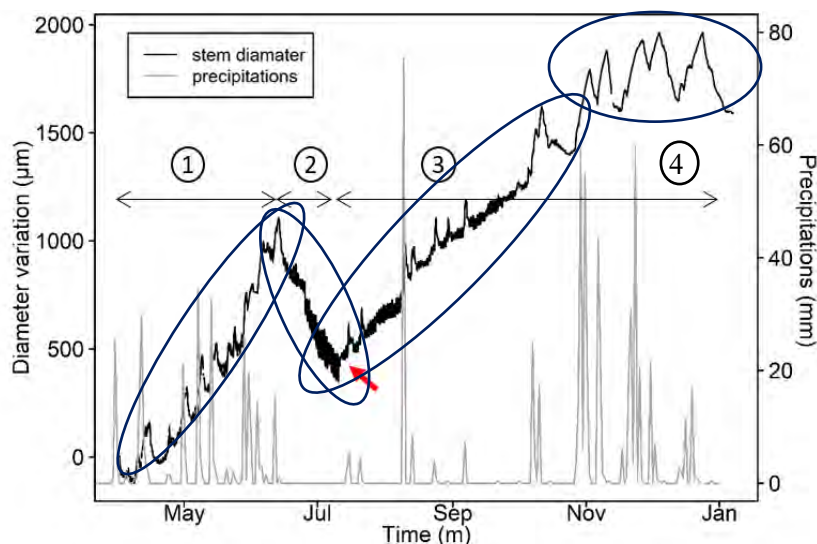


Figure 19 : Evolution du diamètre d'une branche de lavandin au cours du temps en fonction des précipitations.
Source : graphique retravaillé, Lia Lamacque, 2020

L'augmentation du diamètre des tiges du lavandin peut se faire par 4 mécanismes : la croissance radiale irréversible, une recharge en eau des cellules, une dilatation thermique, et une expansion des éléments conducteurs morts¹¹ (Daudet et al., 2005). La contraction du diamètre est, elle, toujours attribuée à une perte en eau. En effet, en situation de stress, la croissance est stoppée par la baisse du potentiel hydrique et de la turgescence cellulaire induisant un rétrécissement du diamètre. Ainsi, le dendromètre permet de suivre pour chaque période des indicateurs liés à la croissance des plants ou à la contraction (*Annexe 23 : Variation du diamètre d'une branche de lavandin au cours d'un stress hydrique*).

La Figure 20 représente l'évolution du diamètre sur la parcelle de Montagnac (irriguée) et sur la parcelle de Roumoules 01 (partie en sec) en 2020 (A) et 2021 (B).

¹¹ Ceci est due à l'augmentation et au relâchement des tensions internes (Daudet et al., 2005).

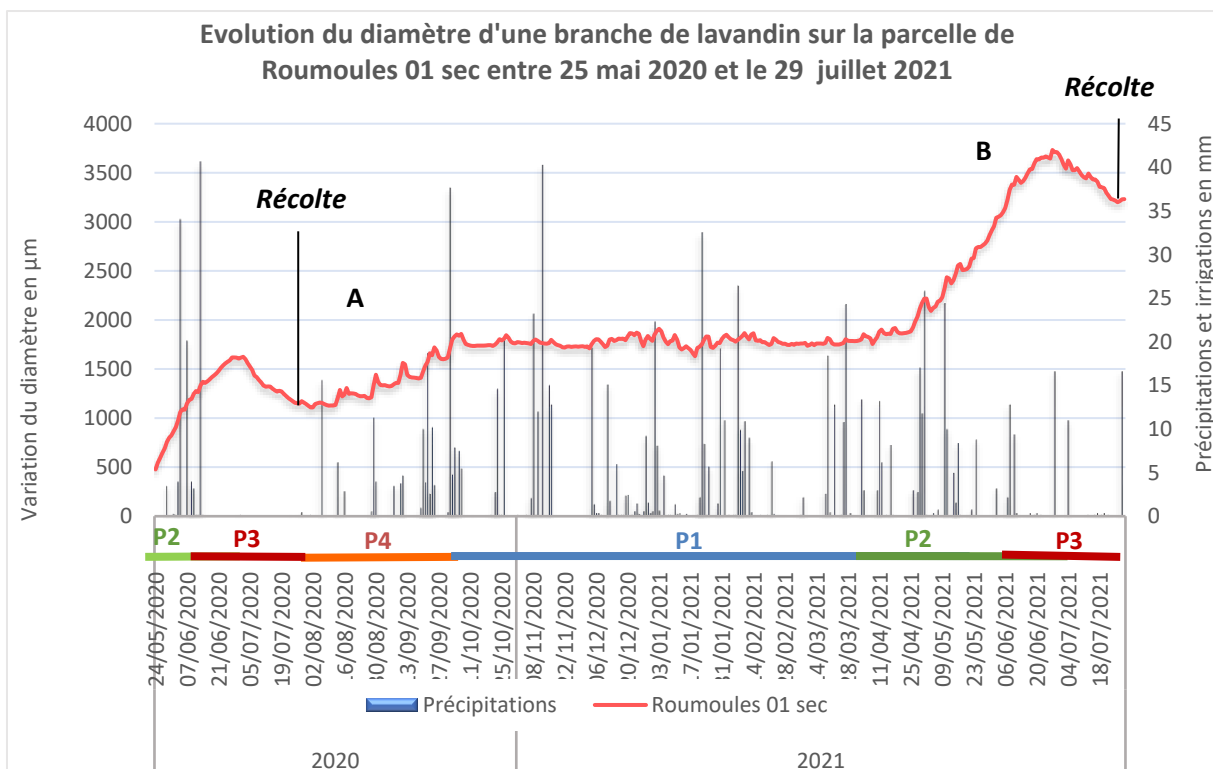
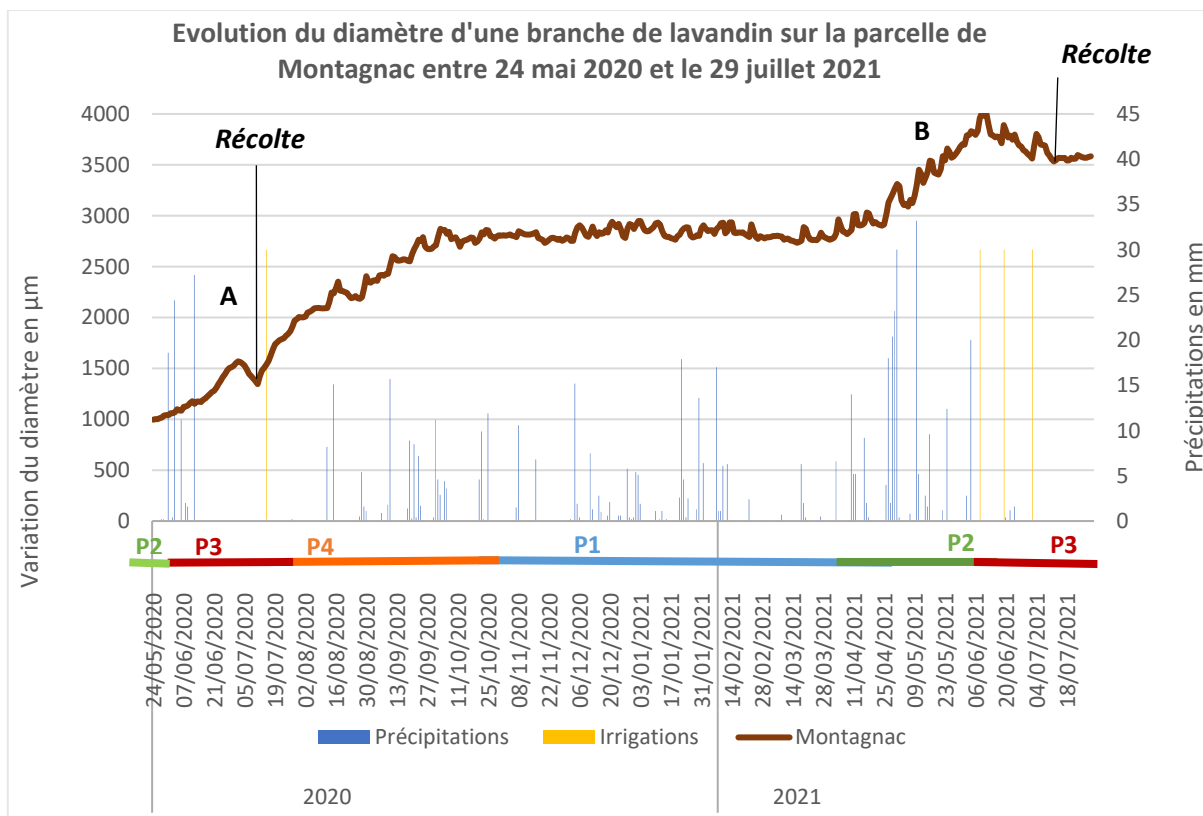


Figure 20 : Evolution du diamètre moyen journalier d'une branche de la parcelle Montagnac (irriguée) et de Roumoules 01 (partie en sec) entre le 24 mai 2020 et le 29 juillet 2021. La campagne 2020 est caractérisée par la lettre A et la campagne 2021 par la lettre B.

La croissance printanière (P2)

La croissance printanière, c'est-à-dire le développement des feuilles et des hampes florales, démarre courant avril et se termine, dans le calendrier cultural établi, fin mai. Néanmoins, la croissance du diamètre se poursuit pendant la floraison courant juin jusqu'en début juillet, avant de rentrer par la suite en décroissance. Un taux de croissance a ainsi été calculé au cours de cette phase d'augmentation du diamètre, en P2 et le début de P3 pour chaque année.

Pour cela, à partir du diamètre initial des branches, respectivement 8 mm pour Montagnac et 10 mm pour Roumoules 01, et des variations calculées par le dendromètre, des pourcentages de croissance ont été estimés du 24/05¹² jusqu'au pic de diamètre observé sur chaque parcelle (Figure 21).

	2020		2021	
	<i>Irrigué</i>	<i>Sec</i>	<i>Irrigué</i>	<i>Sec</i>
Taux de croissance	+ 6 %	+ 9.9 %	+ 2,9 %	+ 7,8%
Date du maximum de diamètre	02/07	02/07	09/06	27/06
Quantité d'eau reçue (pluie + irrigation en mm)	86 mm	110 mm	65 mm	36 mm

Figure 21 : Taux de croissance, date du maximum de diamètre et quantité d'eau reçue sur chaque parcelle pour les deux années de suivi.

Le taux de croissance se montre plus important sur la parcelle en sec, notamment en 2020, année où la parcelle a également reçu la plus grande quantité d'eau par rapport à la parcelle irriguée. Cette différence de croissance entre la parcelle irriguée et en sec, particulièrement en 2021, peut s'expliquer par la précocité de la contraction estivale sur la parcelle irriguée (09/06 contre 27/06) en 2021, mais aussi par les caractéristiques des parcelles. Il est donc difficile de conclure quant à l'impact bénéfique de l'eau sur la croissance printanière

Le pic maximal de diamètre observé arrive aux mêmes dates sur les deux parcelles en 2020. Toutefois il s'avère précoce en 2021 sur la parcelle irriguée à Montagnac. Cette date correspond donc à la rentrée en contraction et peut s'avérer être un indicateur intéressant à surveiller. En effet, si la rentrée est trop précoce, il sera peut-être opportun d'effectuer une irrigation comme effectuée à Montagnac afin de maintenir et rallonger la floraison jusqu'à la récolte.

En P2, les périodes de stress hydrique peuvent être également suivies grâce à l'indicateur d'**amplitude maximale de contraction journalière (AMCj)**. Pour rappel, l'AMCj représente la perte de diamètre de la branche entre le maximum le matin, et le minimum l'après-midi (*Annexe 23 : Variation du diamètre d'une branche de lavandin au cours d'un stress hydrique*). Aussi, plus cette amplitude est importante, plus la transpiration et donc la perte en eau de la branche est forte. Le Tableau 8 présente la moyenne de cette amplitude par période.

¹² La période de croissance commence généralement début avril. Néanmoins les dendromètres ayant été installés que le 24/05 en 2020, le taux de croissance a été calculé à partir de cette date pour les deux années, afin de permettre la comparaison.

A partir des valeurs obtenues, un seuil de 100 μm a été estimé comme indicateur de stress hydrique et le nombre de jours dépassant ce seuil a été calculé par période.

		<i>Amplitude max J/N (μm)</i>			
		P1	P2	P3	P4
2020	<i>Irrigué</i>	NA	56	63 <i>10 jours > 100</i>	76 <i>24 jours > 100</i>
	<i>Sec</i>	NA	64	136 <i>36 jours > 100</i>	90 <i>48 jours > 100</i>
2021	<i>Irrigué</i>	50 <i>6 jours > 100</i>	87 <i>24 jours > 100</i>	122 <i>31 jours > 100</i>	NA
	<i>Sec</i>	38 <i>10 jours > 100</i>	54 <i>8 jours > 100</i>	164 <i>44 jours > 100</i>	NA

Tableau 8 : Moyenne de l'indicateur AMCj par période sur les deux parcelles équipées pour 2020 et 2021. Le nombre de jour supérieur au seuil de 100 μm a été comptabilisé.

Les moyennes montrent une amplitude forte pendant la contraction estivale, excepté sur la parcelle irriguée de Montagnac en 2020 qui n'a pas été marquée par un stress hydrique important.

Le nombre de jours dépassant le seuil de 100 μm est supérieur en P3 sur la parcelle en sec pour les deux années. Toutefois en 2021, elle présente un nombre de jour inférieur à la parcelle irriguée en P2. Cela pourrait peut-être s'expliquer par la taille des plants, moins volumineux en sec, et donc limitant l'amplitude. Mais aussi par la rentrée en contraction plus tardive sur la parcelle.

L'AMCj permet ainsi de rendre compte de la dynamique de l'état hydrique au cours d'une année et est ainsi très prometteur pour piloter l'irrigation si elle est trop importante.

La contraction estivale (P3)

De manière à évaluer les effets de l'irrigation au cours de la sécheresse estivale, la contraction maximale du diamètre sur toute la période de déshydratation a été calculée et est représentée ci-dessous. On parlera de taux de contraction. Ils sont présentés dans le Figure 22 et en [Annexe 24 : Identification des périodes de contraction estivale](#).

2020

2021

	<i>Irrigué</i>	<i>Sec</i>	<i>Irrigué</i>	<i>Sec</i>
Taux de contraction	- 2,3 %	- 4,4 %	- 4 %	- 3,9 %
Durée de la contraction	10 j	31j	34 j	30 j

Figure 22 : Tableau présentant les PLD pour chaque année et la durée de la contraction.

On constate une contraction plus forte sur la parcelle en sec que sur la parcelle irriguée où celle-ci ne dure que 10 jours. Toutefois, en 2021, campagne plus sèche, les PLD sont très proches entre les deux modalités malgré les irrigations effectuées sur la parcelle irriguée représentées sur la Figure 23.

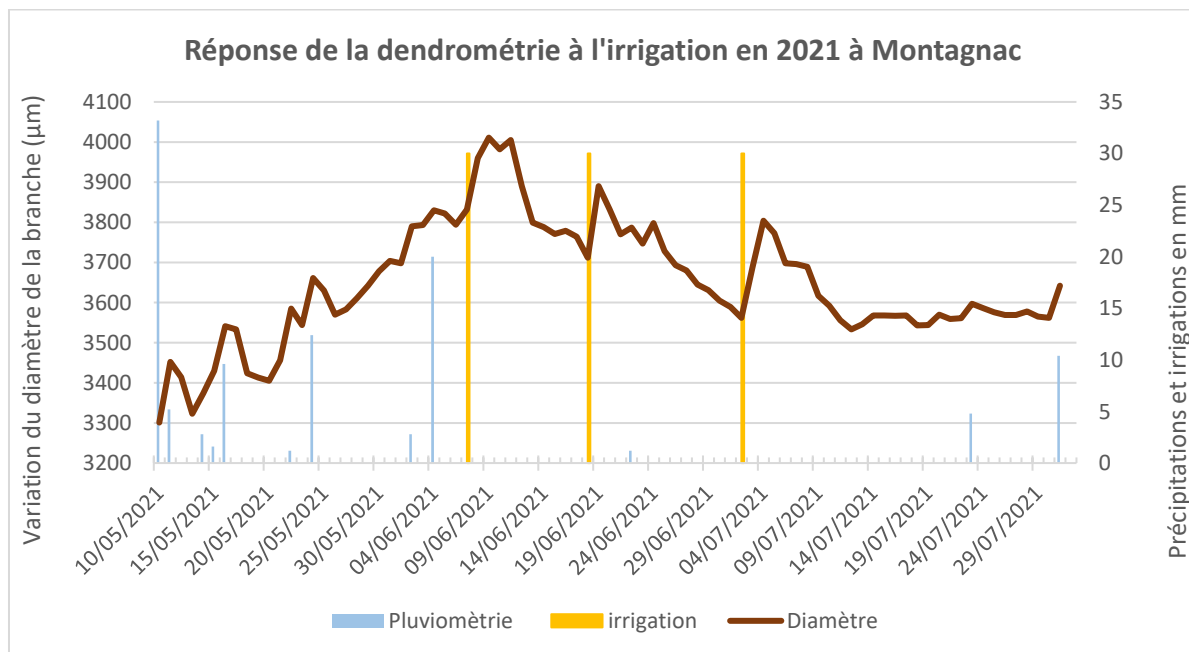


Figure 23 : Réponse de la dendrométrie aux irrigations sur la parcelle de Montagnac, après des apports d'irrigation du 10 mai au 6 août 2021. Source : graphique réalisé à partir des données Webcomsag.

On remarque que chaque irrigation est marquée par une réponse du lavandin. En effet, grâce à l'apport d'eau, les tissus se réhydratent, et le diamètre de la branche augmente. Néanmoins, ils n'empêchent pas la contraction estivale qui se poursuit malgré les apports. Elle semble en effet être un mécanisme physiologique de sureté hydraulique du plant plutôt qu'une réponse directe au manque d'eau. La différence constatée entre irrigué et sec pourrait également s'expliquer par la taille du plant, plus volumineux chez les parcelles irriguées, impactant la transpiration et ainsi pouvant augmenter l'intensité du taux de contraction.

La reprise post-récolte (p4)

Afin d'estimer des potentiels dégâts occasionnés par la sécheresse estivale, et évaluer les effets de l'irrigation sur la reprise post-récolte et la campagne suivante, un taux de reprise a été calculé. Pour se faire, le pourcentage de diamètre gagné entre la fin de la contraction estivale et la fin de la P4 a été estimé pour chaque année. Les résultats sont présentés dans le Tableau 9 :

		2020	
		<i>Irrigué</i>	<i>Sec</i>
<i>Taux de croissance en P4</i>		+ 14 %	+ 5 %

Tableau 9 : Pourcentage de diamètre gagné entre au cours de la P4 sur les deux parcelles.

Chaque année a été marquée par une irrigation post-récolte sur la parcelle de Montagnac au cours du mois d'août. On remarque que le gain de diamètre est plus fort sur la parcelle irriguée que celle au sec (+ 14% contre 5 %). L'irrigation pourrait donc favoriser la bonne reprise végétative après la récolte et la mise en réserve pour la campagne à venir.

Le dendromètre permet donc de surveiller plusieurs indicateurs pertinents par période : la croissance en P2, en apportant des irrigations si besoin, mais également de visualiser le début de la contraction du plant pour apporter une irrigation si elle est trop précoce, afin de prolonger et d'optimiser la floraison. Enfin, il permet de surveiller le taux de reprise du plant après la récolte. Des seuils clés pourront être estimés particulièrement pour l'AMCj afin d'aider dans la prise de décision du déclenchement de l'irrigation.

3.4.3 Les indicateurs spectraux par la télédétection

De manière générale, l'ensemble des indices spectraux suivent une tendance relativement similaire¹³. L'analyse s'est donc concentrée sur l'indicateur NDVI, représentatif de la vigueur du plant, le plus utilisé en télédétection.

Les tendances du NDVI observées au cours des trois campagnes sont représentées sur les graphiques en *Annexe 25 : Cinétique du NDVI entre parcelles irriguées et en sec*.

On observe pour chaque année une croissance du signal jusqu'en juin/juillet reflétant la croissance printanière du lavandin. Le pic observé semble marquer la fin du développement des hampes florales et le début de la floraison entre le 18 juin et le 29 juin. En effet, il est probable que le signal soit plus faible à la floraison, en raison de la couleur des inflorescences qui pourrait masquer le signal des feuilles. Le NDVI se stabilise ensuite en août, probablement suite à la récolte de la biomasse.

Même si le NDVI a tendance à être plus important sur les parcelles irriguées, les résultats restent

¹³ Coefficient de corrélation NDVI/NDRE = 0.991

Coefficient de corrélation NDVI/NDWI = -0.966

Coefficient de corrélation NDWI/NDRE = -0.966

très variables d'une parcelle à l'autre et la différence, non significative entre parcelles irriguées et en sec. Il semble donc difficile de d'estimer la conduite (irrigué ou non) de la parcelle uniquement par le NDVI.

Le NDVI pour suivre la croissance du lavandin

Le NDVI représente la vigueur du plant. Ainsi, il est intéressant de regarder le lien entre cette donnée « vigueur » au cours du temps et la donnée croissance du végétal issue du dendromètre. L'indicateur de croissance représente la moyenne sur une décade des diamètres maximaux journaliers. La corrélation entre la cinétique du NDVI et la croissance du plant pour les deux parcelles est représentée en [Annexe 26 : Relation entre le NDVI et la dendrométrie](#).

Malgré les résultats hétérogènes au sein des parcelles mais aussi au fil des années, on remarque tout de même certaines tendances et liens entre le NDVI et la croissance du plant :

- Excepté les données pour la campagne 2020 à Montagnac, les phases de croissance des deux indicateurs présentent des cinétiques très similaires et sont très corrélées.
- Les phases de décroissance ne sont néanmoins peu voire pas corrélées entre les deux indicateurs. Le NDVI décroît plus tardivement et beaucoup plus rapidement. Cette forte décroissance pourrait s'expliquer par deux causes : (i) la floraison inhiberait le signal par la couleur violette des fleurs ; (ii) la période de floraison du plant est marquée par une déshydratation des hampes qui se rigidifient. La vigueur pourrait être ainsi impactée.

Le NDVI pour anticiper les périodes de stress hydrique

Afin d'analyser la réponse du NDVI au stress hydrique, des décades de sécheresses ont été estimées. Pour se faire, les décades présentant une tensiométrie $>150\text{cb}$ et un indice de sécheresse (P-ETP) $< -60\text{ mm}$ ont été qualifiées de décade de sécheresse ([Annexe 27 : Identification des décades de sécheresse](#)). L'influence du nombre de décade de sécheresse au cours d'une campagne sur la valeur de NDVI maximal a été étudiée, mais aucun lien n'a pu être déterminé (coefficient de corrélation = -0.3).

Il est également difficile de généraliser la réponse du NDVI à la tensiométrie sur toutes les parcelles ([Annexe 28 : Réponse du NDVI à la tensiométrie](#)) étant donné la variabilité constatée.

Aussi, la réponse du NDVI au stress hydrique n'est pas évidente. Cet indicateur ne permet pas de visualiser finement les périodes de stress hydrique notamment en P2. Il est toutefois possible qu'une donnée de NDVI journalière puisse fournir des informations plus précises sur l'impact d'un déficit d'eau sur la vigueur de la plante, contrairement à toutes les décades ou tous les cinq jours.

Le NDVI, prometteur pour identifier les dates de récoltes et les potentiels de rendement

Le NDVI commence en moyenne à décroître entre la décade 21 et la décade 25 selon les parcelles. La floraison, elle, démarre en générale en décade 23 ou 24 (autour du 15 juin) et les récoltes entre les décades 26 et 28. Aussi, le pic de NDVI pourrait être un indicateur pertinent pour l'agriculteur sur la date du début de la floraison de la parcelle, pour ensuite estimer la date de récolte, qui arrive généralement deux à trois décades après le début de la floraison.

La relation entre la vigueur estimée par le NDVI et la production des parcelles a également été étudiée (*Annexe 29 : Relation entre la valeur maximale de NDVI et la production de matière sèche*). Le lien entre les deux indicateurs apparaît assez important pour les deux campagnes (R^2 2019 = 0.5 et R^2 = 0.55).

Quant à la relation entre le rendement en essence et la valeur maximale de NDVI, la corrélation est représentée sur la Figure 24 pour les campagnes 2019 et 2020. Les deux indicateurs sont liés (régression linéaire, corrélation totale R^2 =0.6), notamment en 2020. De plus, il est intéressant de voir que les parcelles avec le NDVI maximum sont majoritairement les parcelles irriguées. Pour les deux années, aucun lien ne se dégage entre l'âge des parcelles et le maximum de NDVI.

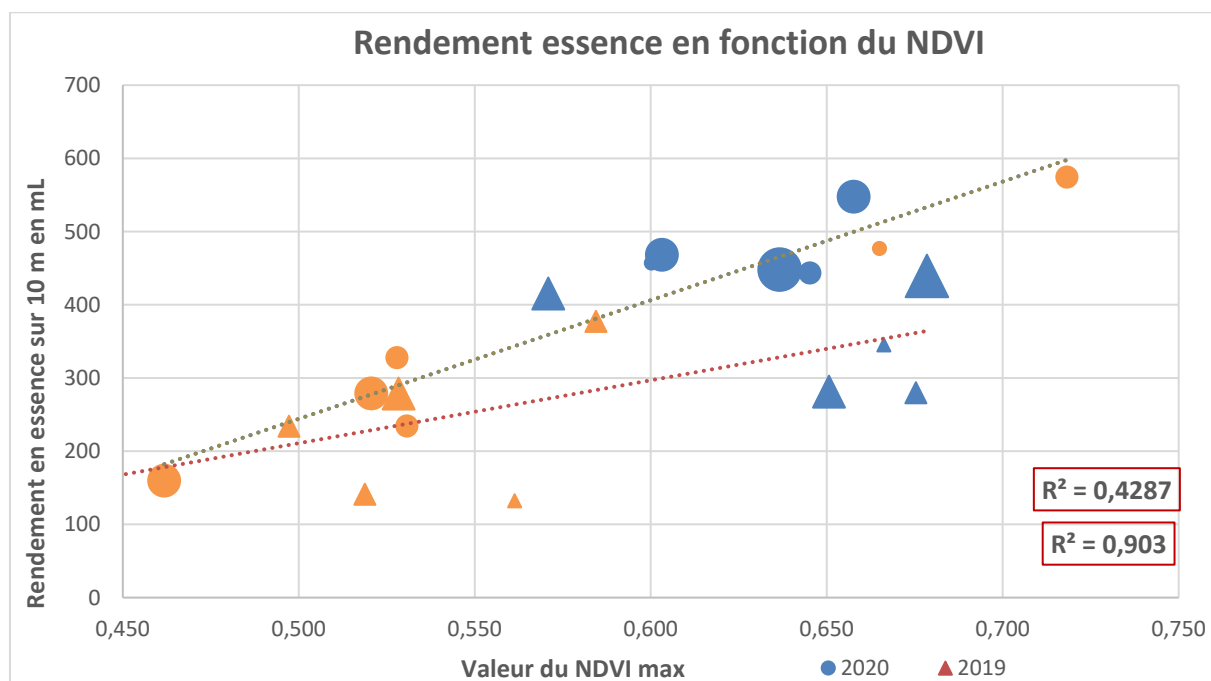


Figure 24 : Rendement en essence en fonction de la valeur max de NDVI pour chaque parcelle en 2019 et 2020. La taille des ronds est proportionnelle à l'âge des parcelles.

Aux vues des liens entre les indicateurs, la valeur maximale de NDVI semblerait être un bon indicateur de potentiel rendement notamment en huile essentielle. Grâce à la spatialisation des données NDVI, il pourrait donc être possible d'estimer la production sur une parcelle dès le pic de NDVI dépassé. Ces résultats sont toutefois issus de peu de données, et le lien serait donc à vérifier sur davantage d'années.

3.4.4 Synthèse des indicateurs agro-climatiques pertinents à suivre

L'étude des composantes du rendement du lavandin, ainsi que le suivi des indicateurs a permis d'identifier les moments clés dans le cycle du lavandin pouvant impacter la production. Grâce à la décomposition du calendrier cultural du lavandin, les besoins et risques affiliés à chaque

période ont pu être déterminés. Aussi, le Tableau 10 représente les objectifs clés à atteindre pour chaque période, avec les outils et les indicateurs à surveiller pour y répondre.

	<i>Période 1</i> <i>Dormance hivernale</i>	<i>Période 2</i> <i>Développement foliaire et des hampes florales</i>	<i>Période 3</i> <i>Floraison et contraction estivale</i>	<i>Période 4</i> <i>Reprise post-récolte</i>
Objectifs	- Recharge des sols - Vernalisation	- Développement maximal des hampes	- Floraison longue et fournie	- Redémarrage rapide de la végétation
Indicateurs à suivre	Température minimum Teneur en eau dans le sol	Cumul pluies Cumul temps thermique Risque gel Eau dans le sol Taux de croissance Amplitude maximal journalière NDVI	Indice de sécheresse VPD max Taux de décroissance (PLD) Date du pic maximal de NDVI	Cumul pluies Eau dans le sol Taux de reprise
Outils	Tensiomètres Stations météo	Stations météo Tensiomètres Dendromètre Télédétection	Stations météo Dendromètre Télédétection	Stations météo Tensiomètres Dendromètre

Tableau 10 : Bilan des indicateurs de suivi à surveiller selon les objectifs de chaque période du cycle du lavandin

4 L'animation du réseau

L'animation du réseau est un volet important de la démarche Regain. En effet, dans le cadre de la thématique « irrigation », un des objectifs principaux était de communiquer les résultats afin d'accompagner les lavandiculteurs dans leurs pratiques culturales. Cet accompagnement technique est issu d'une co-construction entre agriculteurs et partenaires, grâce aux échanges et aux partages des résultats et avancées.

4.1 La rédaction de bulletins de communication

Au cours de la campagne 2019, des bulletins personnalisés sur la campagne ont été diffusés auprès de chaque agriculteur du réseau. En 2020, un bulletin mensuel sur la démarche Regain a été instauré permettant de relayer l'avancée des différentes thématiques du projet.

Enfin, au cours de la campagne 2021, des bulletins spécifiques à la culture du Lavandin ont été réalisés par grande période agro-climatique (*Annexe 30 : Bulletins de conseil pour chaque période du lavandin*). L'objectif y est de décrire les principaux faits climatiques marquants de la période, de rappeler les indicateurs à suivre, et ainsi d'appuyer les lavandiculteurs dans leurs décisions de gestion du stress hydrique. En parallèle, des bulletins vidéo ont été tournés afin de diversifier le support de communication (*Annexe 31 : Lien des bulletins vidéo*). En effet, l'aspect ludique et synthétique de la vidéo est un autre moyen de toucher agriculteurs, conseillers techniques où tout autre personne intéressée par la thématique.

Chaque campagne a également été ponctuée par une journée technique permettant de présenter de visu toutes les avancées de la démarche Regain. Pour la campagne 2021, la matinée technique s'est déroulée le 3 septembre, à Esparron-Sur-Verdon réunissant une trentaine d'agriculteurs. Ce rassemblement a notamment permis de restituer le bilan de ce mémoire et des trois années du suivi du réseau irrigation (*Annexe 32 : Poster restitution matinée technique 2021*).

4.2 L'organisation d'un webinaire

Au mois de mai 2021, s'est tenu un Webinaire à destination des agriculteurs, des conseillers et experts techniques et des partenaires de la démarche Regain (*Annexe 33 : Webinaire*). Ce fut l'occasion pour la SCP de présenter et d'échanger sur :

1. L'intérêt de regarder la donnée et les indicateurs selon un cadre analytique précis
2. La mise en œuvre de cette méthode pour le lavandin
3. Comment visualiser ces informations via l'application SCP AgriData

Cet échange d'une heure a permis de valider certaines hypothèses et fut très riche dans l'avancée sur projet. Il a également permis de présenter l'outil SCP AgriData, peu utilisé par les agriculteurs.

4.3 L'adaptation de l'outil SCP AgriData

A la suite de plusieurs échanges avec les agriculteurs sur le terrain et lors d'enquêtes est remontée la complexité de la prise en main de l'outil SCP AgriData. En effet, le tableau de bord principale regroupe de nombreuses données, et il est peut-être difficile pour l'agriculteur

de s'y retrouver et d'en sélectionner. De plus, la construction de nouveaux graphiques n'est pas toujours intuitive pour certains.

C'est pourquoi, des adaptations ont été réalisées sur l'outil. La mise en place des périodes agro-climatiques a permis également d'adapter les tableaux de bord pour faciliter l'outil. Ainsi, 4 tableaux de bord ont été créés (un par période) afin de recenser les indicateurs clés à suivre. Ils permettent ainsi de faciliter l'analyse et l'interprétation de l'information, en accédant facilement à l'information et en permettant la comparaison entre campagne (Figure 25).

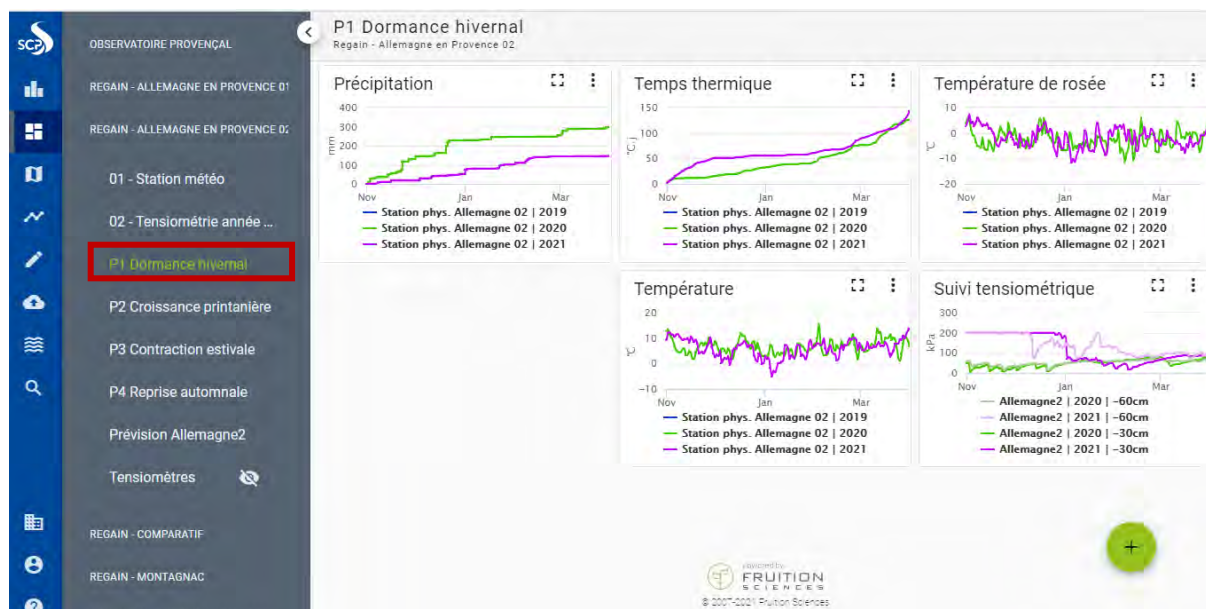


Figure 25 : Tableau de bord relatif à la période 1 du cycle du lavandin sur SCP Agridata. Les indicateurs à suivre : (1) précipitations, (2) temps thermique, (3) température de rosée, (4) températures et (5) tensiométrie pour la P1 sont visibles pour chaque année afin de faciliter la comparaison et l'interprétation. (Source : site SCP Agridata)

Une partie du webinaire (voir 4.2.2) a été dédiée à la présentation de ces quatre tableaux de bord, et au rappel de certaines fonctionnalités de l'application.

5 Discussions

5.1 Retour sur la méthode et les résultats

Des parcelles hétérogènes

Le premier point pouvant être discuté est l'hétérogénéité des parcelles. En effet, elles présentent des caractéristiques très divergentes (climat, sol, âge...). Aussi, le nombre important de facteurs à prendre en compte a complexifié les interprétations et les comparaisons entre parcelles irriguées et en sec. L'adoption de témoins au sec dans des parcelles avec irrigation a permis d'observer si des effets pouvaient ressortir avec l'irrigation, sans biais d'autres facteurs. Toutefois, des données issues de deux parcelles sur deux années restent faibles pour pleinement

conclure, surtout dans le cas où les effets ne semblent pas toujours être les mêmes entre les deux parcelles comme ce fut parfois le cas.

Les résultats concernant les analyses de sols effectuées n'ont pas été explicités au cours de l'étude. En effet, les propriétés du sol des parcelles (matière organique, activité biologique) n'ont pas montré de différences significatives marquées entre les parcelles irriguées et les parcelles en sec. Néanmoins, les résultats sont représentatifs de l'hétérogénéité du sol d'une exploitation à l'autre. De même pour la nématofaune des sols, qui présentent également des résultats variables d'abondance et de diversité des nématodes entre toutes les parcelles. Le suivi de la macrofaune terrestre montrent que l'irrigation du lavandin ne semble également pas modifier l'abondance et la richesse spécifique des carabes et des araignées.

Le protocole de suivi sur le terrain de la campagne 2021

Le suivi de la croissance pour la campagne 2021 a permis de suivre directement sur la parcelle le développement des composantes de rendement au cours de la saison. Cependant, il a certainement manqué de précisions. En effet, la mesure des 10 hampes sur les quatre plants étaient aléatoires toutes les décades. Il aurait peut-être été opportun de suivre les indicateurs sur les mêmes 10 hampes tout au long de la croissance. De plus, le suivi de la floraison fut assez complexe. En effet, la durée d'une fleur étant courte, il n'était pas possible de comptabiliser les calices et les coroles sur les épis. Le taux de floraison a donc été estimé par le nombre d'étag et par la longueur de l'épi.

Les données et résultats

Le suivi des trois campagnes a permis de collecter de nombreuses données sur différentes fréquences : horaire, journalière, et annuelle. Certaines limites concernant ces données peuvent être évoquées. En outre, les données issues des dendromètres, qui se sont avérées limitées. En effet, seulement deux dendromètres ont fonctionné au cours de l'étude et uniquement à partir de mai 2020. Il était donc parfois difficile d'interpréter les résultats et encore une fois de tirer des conclusions quant aux réponses observées entre sec et irrigué. Aussi, la collecte des données météorologique via la station météo installée sur la parcelle a présenté certaines incertitudes. En effet, les données peuvent être parfois faussées notamment par l'obstruction du matériel par des débris végétaux et animaux. Des différences ont aussi été remarquées entre le volume d'irrigation consigné par l'exploitant, collecté au cours des enquêtes, et le volume restitué par la station météo installée sur la parcelle, qui était souvent inférieur.

La mise en relation entre l'ensemble des données fut parfois complexe au regard du nombre d'indicateurs. Les grandes périodes ainsi que les décades ont permis de faciliter le tri des données et de créer une base de données annuelle (moyenne des indicateurs par période) et temporelle (moyenne des indicateurs par decade) afin de faciliter l'analyse. La construction de ces bases de données a notamment permis un essai de construction de modèle de prédiction de rendement. Pour ce faire, plusieurs essais ont été réalisés sur un outil de statistiques : mydatamodel permettant de créer un modèle qui présente les indicateurs impactant le rendement ou la vigueur par le NDVI. Les essais n'ont toutefois pas abouti, en raison du jeu de données trop faible (33 « individus » au total sur 3 années). Aussi, la fiabilité du modèle proposé n'était pas recevable.

Un résultat intéressant mis en exergue par la dendrométrie est la condition de rentrée en contraction estivale. En effet, il semblerait que la contraction ne soit pas qu'une réponse à la sécheresse, mais également un mécanisme physiologique de sureté hydraulique, qui pourrait s'apparenter à une mise en dormance estival du plant. Il serait donc intéressant de poursuivre

le suivi de la dendrométrie pour étudier ce davantage ce mécanisme.

L'analyse des résultats n'a pas toujours permis de pleinement conclure quant aux performances de l'irrigations ou aux différences entre parcelles sec et irrigué, mais a permis de toutefois donner des tendances, qui doivent être vus comme des premières pistes à approfondir et à vérifier à l'avenir.

5.2 Perspectives pour approfondir l'étude

Il serait intéressant de poursuivre les années de suivi pour conclure sur les tendances observées quant à l'impact de l'irrigation sur les performances agronomiques. Aussi, la mise en place de plus de parcelles témoins sur le réseau existants serait pertinent afin de cibler plus précisément l'impact de l'irrigation sans les autres facteurs caractéristiques aux parcelles. Aussi, pourra être discuté avec l'agriculteur, d'une zone témoin non irriguée. Le réseau de parcelle pourrait être également étendu et les parcelles regroupées par zone géographique pour affiner les comparaisons statistiques entre parcelles irriguées et en sec. La pose de dendromètres supplémentaires serait également intéressante afin d'approfondir l'interprétation des indicateurs. La multiplicité des années pourrait également permettre de mieux comprendre la réponse du plant au contexte météorologique, mais aussi de mieux étudier l'impact de l'irrigation sur le taux de dépérissement et sur la longévité de la culture. D'autres points pourront également être approfondis, notamment de montrer si l'irrigation minimise un potentiel épisode de sécheresse avec un VPD élevé.

Dans le cadre de l'extension du réseau sur la partie nord du plateau, l'objectif de la SCP est d'éviter tout risque de sur-irrigation et de proposer aux agriculteurs des outils pertinent pour irriguer aux plus près des besoins de la plante. Pour accompagner les lavandiculteurs dans leur prise de décision, des seuils pourront être mis en place pour faciliter le suivi et l'interprétation des indicateurs. Ainsi, 3 stades pourraient être développés pour chaque indicateur : confort, vigilance, et stress hydrique avec un seuil maximal incitant à déclencher une irrigation. Des alarmes pourront être installées sur l'outil SCP Agridata, dès le franchissement « vigilance » et surtout lors du franchissement d'un des indicateurs vers un stress hydrique ou un risque pour la production. L'AMCj serait notamment un indicateur prometteur à surveiller au pas de temps de temps journalier pour piloter son irrigation.

D'un point de vue plus systémique, l'irrigation sur le plateau serait à terme davantage un levier pour le développement de pratiques agroécologiques comme la plantation de haies, ou d'intercultures, ainsi que pour diversifier les cultures. Elle pourrait également jouer un rôle dans sur la résilience de la culture à long terme. Les résultats des rapports du Groupe Intergouvernemental d'experts sur l'Évolution du Climat (GIEC, 2021) confirment la vulnérabilité du bassin méditerranéen en le considérant comme le « point chaud » face au changement climatique. De nombreux phénomènes se voient déjà impactés : vagues de chaleur, de froid, pluies extrêmes et irrégulières, sécheresses... Aussi, l'enjeu lié à l'eau et à l'irrigation est central pour la résilience de l'agriculture. Dans un contexte de changement climatique, l'irrigation pourrait être une manière de s'adapter aux conséquences sévères pour l'agriculture, et d'améliorer la résilience des systèmes de production sur le plateau.

Conclusion

Cette étude a permis de faire le bilan des trois années de suivi du réseau irrigation mis en place dans le cadre de la démarche Regain. Tout d'abord, le calendrier spécifique au lavandin a permis d'identifier 4 grandes périodes agroclimatiques. Ainsi les besoins nécessaires au bon développement des composantes de rendement mais aussi les risques pouvant les impacter ont été identifiés au cours de chacune de ces périodes. La caractérisation du contexte météorologique ainsi que des pratiques d'irrigation a permis de mieux comprendre les stratégies des irrigants. Les besoins en eau peuvent être estimés entre 80 mm (année moyenne) et 120 mm (année sèche). L'irrigation reste modérée et d'appoint. Elle se concentre majoritairement au cours de la floraison même si l'apport n'est pas systématique et dépend du contexte météorologique. Elle est également presque systématiquement après la récolte pour assurer une bonne reprise du plant. L'irrigation présente des impacts plutôt bénéfiques sur les performances agronomiques du lavandin. En effet, elle a tendance favoriser le développement du lavandin et ses composantes de rendement. En matière de production, les parcelles irriguées présentent des indicateurs de poids frais et sec et des rendements supérieurs aux parcelles en sec. Concernant la qualité de l'huile essentielle, elle n'est pas détériorée par l'irrigation. Pour terminer, au regard de la variabilité du taux de dépérissement sur les parcelles, les effets de l'irrigation sont encore à étudier sur le plus long terme afin de mieux comprendre les impacts sur la pérennité de la culture.

Différents indicateurs clés ont pu être déterminés pour chaque période du cycle du lavandin, et répertoriés sur des tableaux de bord sur l'outil SCP Agridata. Trois outils ont été plus spécifiquement approfondis sur leur pertinence à notamment anticiper des périodes de stress hydrique. Tout d'abord les tensiomètres permettent de suivre de manière précise le niveau de recharge ou d'assèchement des sols. Ils sont particulièrement utiles en P2 et P4. Néanmoins, ils ne permettent pas de suivre le confort hydrique du végétal et sa capacité à puiser l'eau en dessous de 60 cm, et ne préviennent pas la rentrée du plant en contraction. Cet outil s'avère donc que partiel et peut être compléter par un dendromètre, adapté pour suivre directement la réponse du plant au stress hydrique. En effet, le suivi du développement du plant peut permettre de surveiller des indicateurs clés comme les taux de croissance en P2 et P4 et le taux de contraction en P3 afin d'ajuster les irrigations si besoins. Pour terminer, la télédétection, a permis de suivre la vigueur du lavandin au cours du temps avec l'indice NDVI. Les résultats, très hétérogènes entre les parcelles, semblent prometteurs pour suivre la croissance du plant en P2, mieux anticiper les dates de récolte et les potentiels de rendement. En poursuivant le suivi de ces indicateurs, il serait intéressant d'estimer à l'avenir des seuils pouvant engendrer un risque sur la production où sur la durabilité de la culture, de manière à accompagner les agriculteurs dans le pilotage des irrigations au plus près des besoins du lavandin.

L'élaboration des bulletins collectifs a permis de diffuser les informations et de suivre les conditions des lavandins en temps réel. La création de tableaux de bord par producteur sur l'application SCP AgriDATA a facilité le suivi des indicateurs par période.

Dans le cadre de l'aménagement d'un réseau d'irrigation par la SCP sur le plateau de Valensole, l'accompagnement des irrigants est un élément clé pour aboutir à un système de production durable. Dans un contexte de changement climatique et de dépérissement, l'irrigation semble constituer un levier pour maintenir ou améliorer la résilience de la production du lavandin, dans son intérêt social, économique et touristique.

Références bibliographiques

Agence de l'eau, Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement Bassin Rhône-Méditerranée, 2018, SDAGE 2016 – 2021, Zones vulnérables aux nitrates et captages prioritaires.

BARBIER.E, 1963, LES LAVANDES ET L'APICULTURE DANS LE SUD-EST DE LA FRANCE. Les Annales de l'Abeille, INRA Editions, pp.85-159.

BORNAND M, DOSSO M, 2015. Sols et histoire récente de l'agriculture sur le Plateau de Valensole : Constats et perspectives. Étude et Gestion des Sols, Volume 22, 2015 - pages 43 à 58.

CGEDD, CGAAER, 2020, Changement climatique, eau, agriculture : Quelles trajectoires d'ici 2050 ? Rapport CGEDD n° 012819-01, CGAAER n° 19056, 333p.

CRIEPPAM – Centre Régionalisé Interprofessionnel d'Expérimentation en Plantes à Parfum, Aromatiques et Médicinales, 2006. Qualité des huiles essentielles : Incidence de l'irrigation du lavandin sur le rendement et sur la qualité des huiles essentielles. Document Technique, 12 p.

DAUDET Alain, Thierry Améglio, Hervé Cochard, Olivier Archilla, André Lacoïnte. Experimental analysis of the role of water and carbon in tree stem diameter variations. François-Journal of Experimental Botany, Volume 56, Issue 409, January 2005, Pages 135–144

DESPINASSE Yolande, 2015, Diversité chimique et caractérisation de l'impact du stress hydrique chez les lavandes. Biologie végétale. Université Jean Monnet - Saint-Etienne, 181 p.

DREAL PACA, 2017, Atlas des paysages des Alpes de Haute-Provence - Le Plateau de Valensole, page 227-237.

DURAND. Jean Louis Les effets du déficit hydrique sur la plante : aspects physiologiques. Fourrages, Association Française pour la Production Fourragère, 2007, 190, pp.181-195.

FranceAgriMer, décembre 2020, Note de conjoncture plantes à parfum, aromatiques, et médicinales, 3p.

FranceAgriMer, 2020, Observatoire de la production de miel et de gelée royale, Edition juillet 2020, 7 p.

FranceAgriMer, mars 2021, Note de conjoncture plantes à parfum, aromatiques, et médicinales, 3p.

GALLOIS Philippe, 2017, Dépérissement de la lavande et du lavandin : Mise en œuvre d'un programme de recherches appliquées afin d'apporter des solutions de lutte aux producteurs, Iteipmai, Support présentation journée CASDAR 12 janvier 2017 Restitution des appels à projet 2011 "Innovation et partenariat" et "Recherche finalisée et innovation", 22 p.

García-Caparrós Pedro, 2019, Effects of Drought Stress on Biomass, Essential Oil Content, Nutritional Parameters, and Costs of Production in Six Lamiaceae Species, MDPI, Water, 12p.

GUITTON Y., 2010, Diversité des composés terpéniques volatils au sein du genre *Lavandula* : aspects évolutifs et physiologiques, Thèse, Biologie végétale. Université Jean Monnet - Saint-Etienne, 255 p.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2021, The Physical Science Basis, Summary for Policymakers, WGI, 42p.

LACASSIN J. C., 2010. Pédopaysages des Alpes-de-Haute-Provence (Etude n°25004)

LAMACQUE Lia., 2020, Caractérisation physiologique de la réponse à la sécheresse de la Lavande et du Lavandin : impact de la culture inter-rang, Thèse, Spécialité biologie végétale, Université Clermont-Auvergne, 229 p.

LANG A., RAMSEYER M., 2011. Analyse-diagnostic de l'agriculture du plateau de Valensole –Le rôle de l'irrigation en question. Mémoire, AgroParisTech, Paris. 236p.

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

PNRV, 2010 – Document d'objectifs des sites Natura 2000 n° FR 9302007 site à chauves-souris de « Valensole » et n°FR 9312012 « Plateau de Valensole » (tome 1 – Diagnostic, enjeux et objectifs de conservation)

PUYBERTHIER P., 2017, Bilan d'animation REGAIN 2017, Parc naturel régional du Verdon, 31p.

SAURIN Nicolas, Tisseyre B., Lebon E., Comment mesurer la contrainte hydrique de la vigne, de la plante au vignoble. Innovations Agronomiques, INRAE, 2014, 38, pp.143-158.

SCP- Société du Canal de Provence, 2016. Aménagement hydraulique du plateau de Valensole : Avant-projet Plateau de Valensole, Phase 1- version provisoire, 118 p (Document interne à la SCP et confidentiel)

SCP- 2017, Aménagement hydraulique du plateau de Valensole, Actualisation du schéma directeur, Renforcement du réseau de Chaudon et extension, Note complémentaire au schéma directeur de 2015, (Document interne à la SCP et confidentiel)

SCP, 2018, AVP PLATEAU DE VALENSOLE, Renforcement du réseau de Chaudon et extension vers de nouveaux périmètres, Phase 2, Document interne à la SCP et confidentiel

TARDIVO.C, 2016, La modélisation collaborative pour stimuler l'émergence d'un système agricole plus durable. Conception et mise en œuvre d'une démarche sur le plateau de Valensole, Thèse, L'Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement (AgroParisTech), 336p.

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

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

Sites internet consultés :

[Lavande-Itinéraire technique - CRIEPPAM](#) [consulté le 04/06/2021]

[Présentation - CIHEF - Comité Interprofessionnel des Huiles Essentielles Françaises](#) [consulté le 09/06/2021]

GAEC - Les senteurs du Quercy, site internet www.senteursduquercy.com [consulté le 03/0/2021]

[La Chaire AgroSYS – Chaire partenariale AgroSYS](#) [consulté le 03/07/2021]

Annexes

Annexe 1 : Topographie et type de sol sur le plateau de Valensole

Figure 3 - Topographie générale et pendage des roches (cx = conglomérat à cailloutis roulés calcaires) ; pg = poudingue induré cimenté par CaCO₃ ; m = marne à lits argilo-sableux).

Figure 3 - General topography and rocks dip (cx = calcareous rounded pebbles) ; pg = hard puddingstone cemented by CaCO₃ ; m = marl with sandy-clay beds).

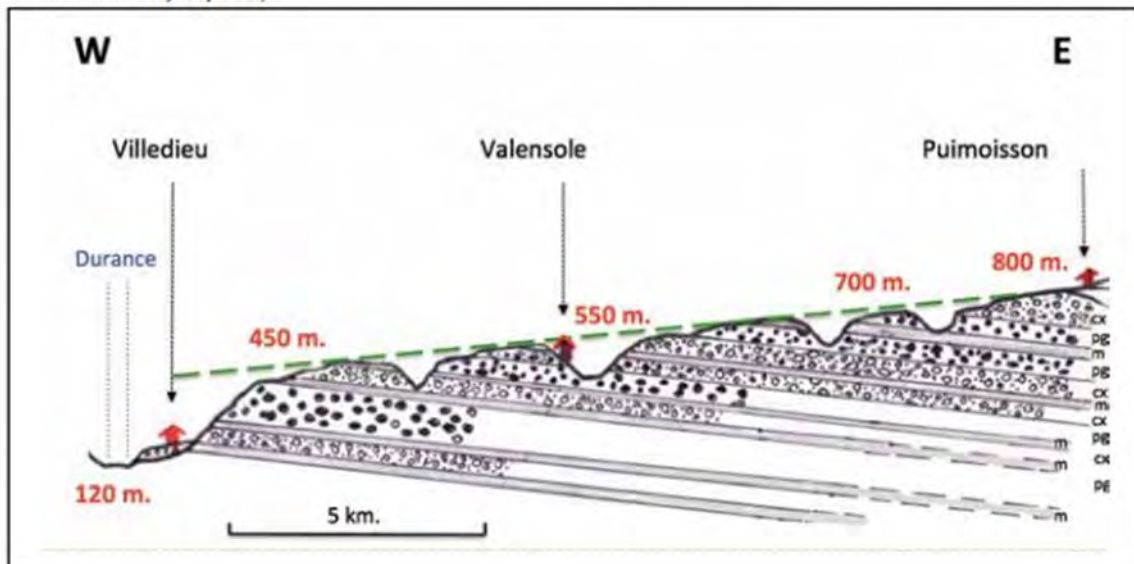
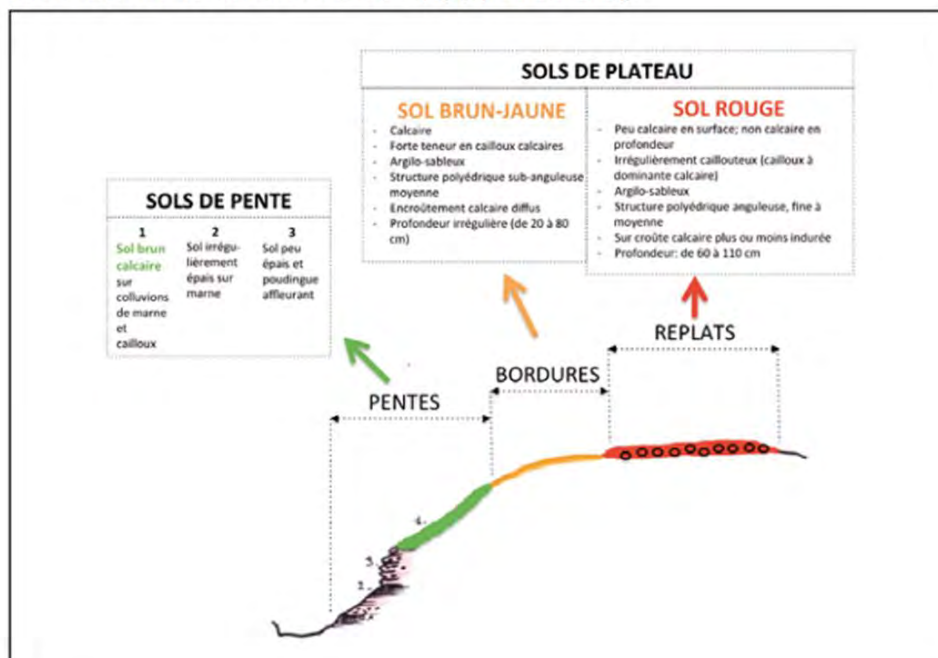


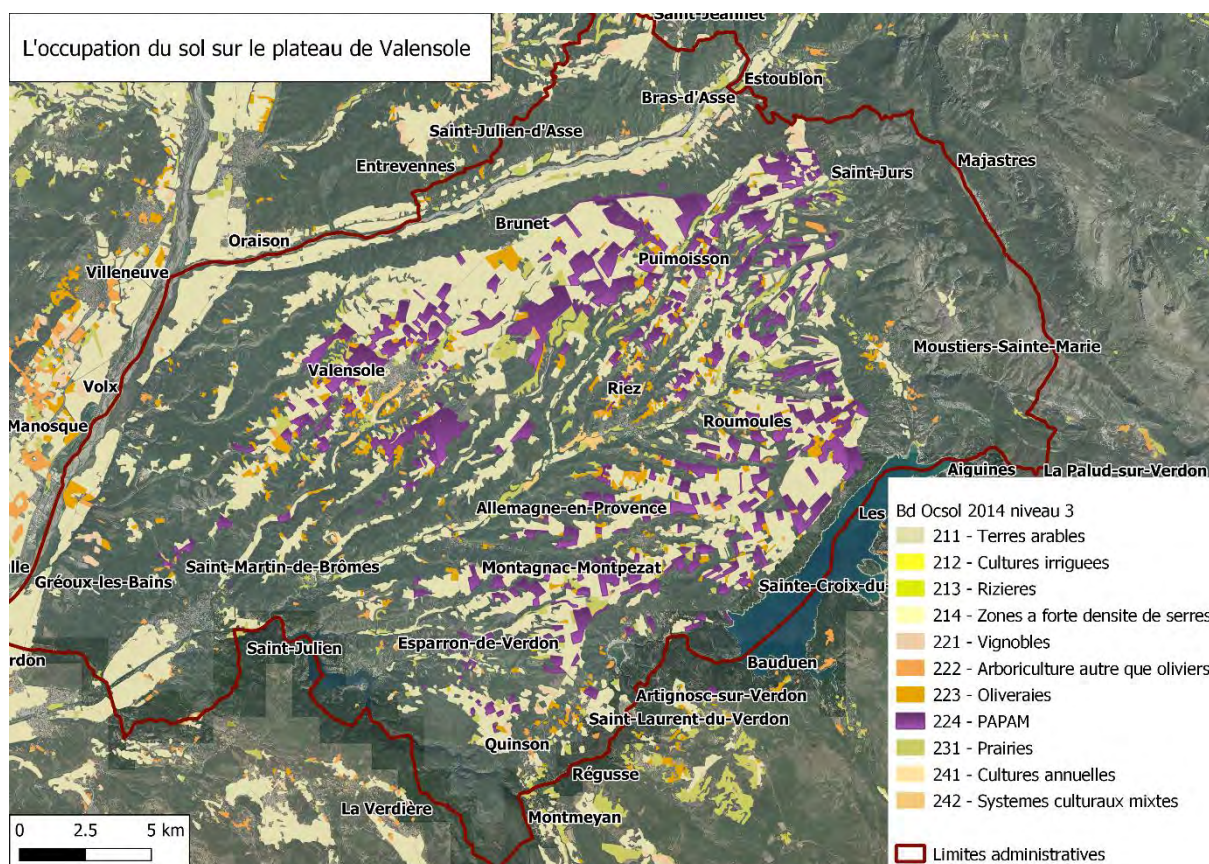
Figure 5 - Séquence de sols observée en liaison avec la topographie et la lithologie associée.

Figure 5 - Sequence of soils observed in association with topography and related lithology.



Topographie et type de sol du plateau de Valensole, M. Bornand et M. Dosso, étude et Gestion des Sols, Volume 22, 2015

Annexe 2 : Carte représentant l'occupation du sol du plateau de Valensole

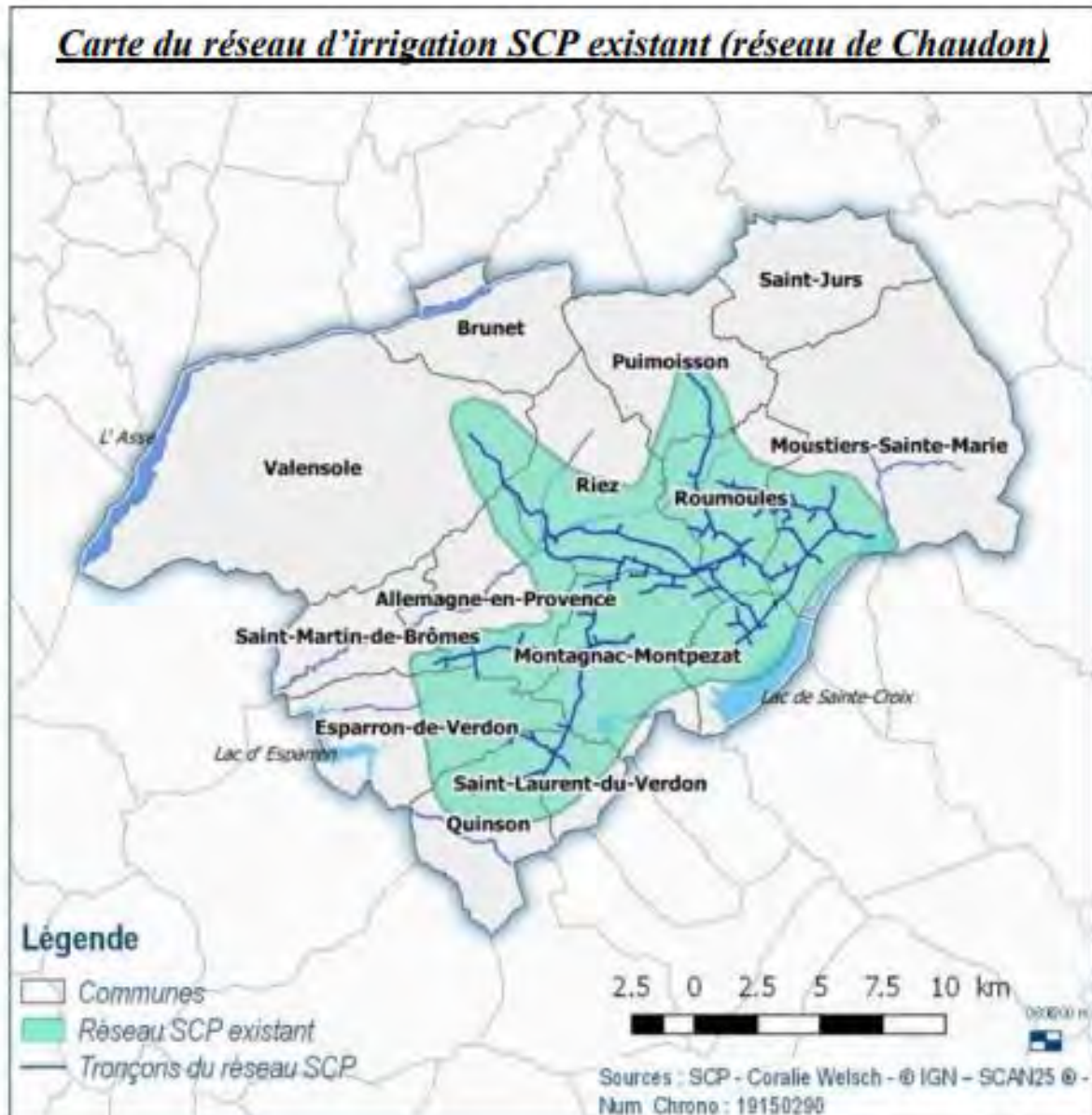


Occupation du sol du plateau de Valensole. Source : carte effectuée à partir des données CRIGE PACA 2014.

Le CRIGE PACA (Centre de Ressources en Information Géographique en Provence-Alpes-Côte d'Azur) est le centre de ressources en géomatique au service des organismes publics de la région.

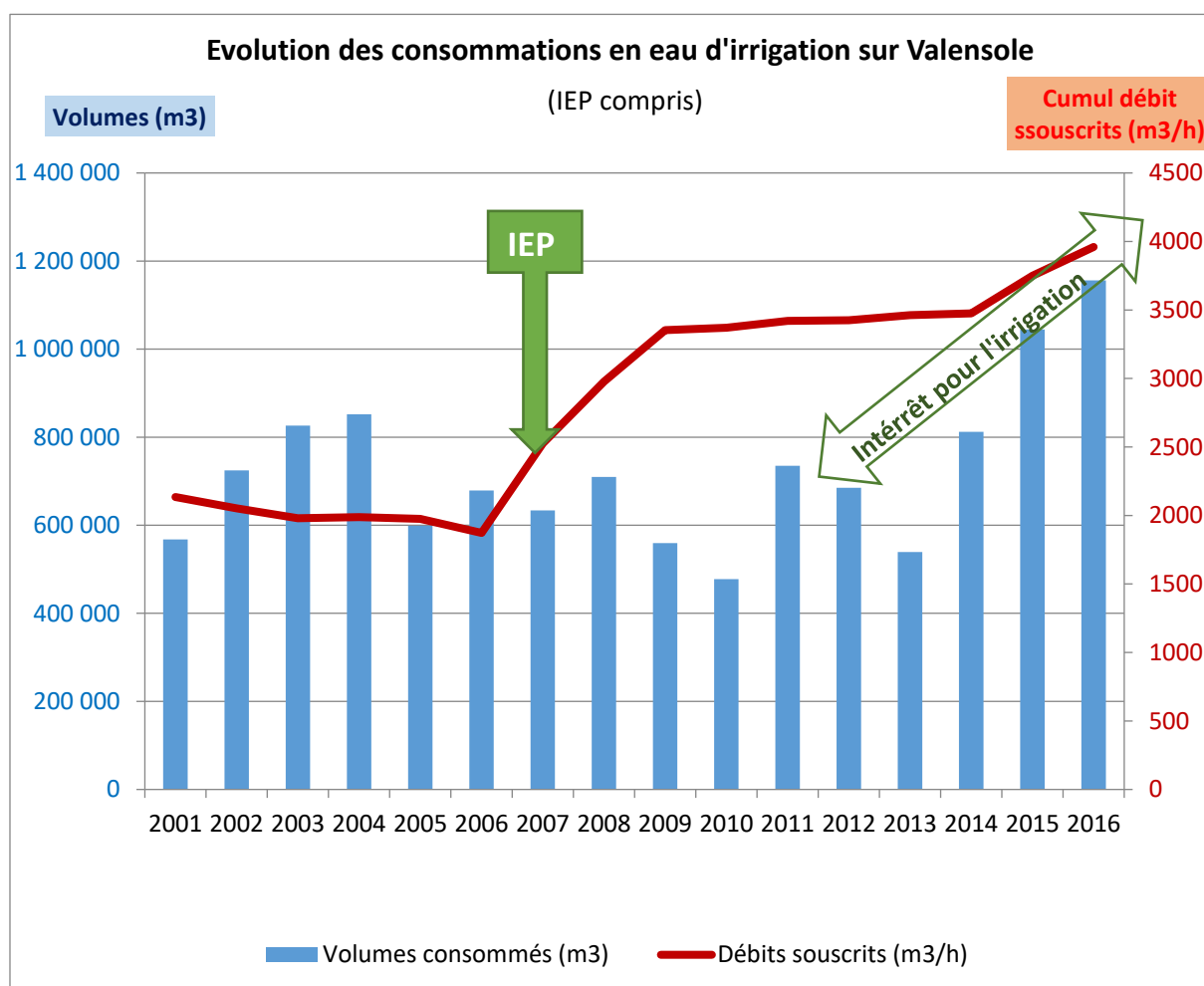
Les PAPAM (Plantes à parfum, aromatiques et médicinales) sont représentées en mauve, et est représentées majoritairement par la culture de lavandin.

Annexe 3 : Carte représentant la délimitation du réseau SCP existant



Source : SCP, Coralie Welsch, 2017.

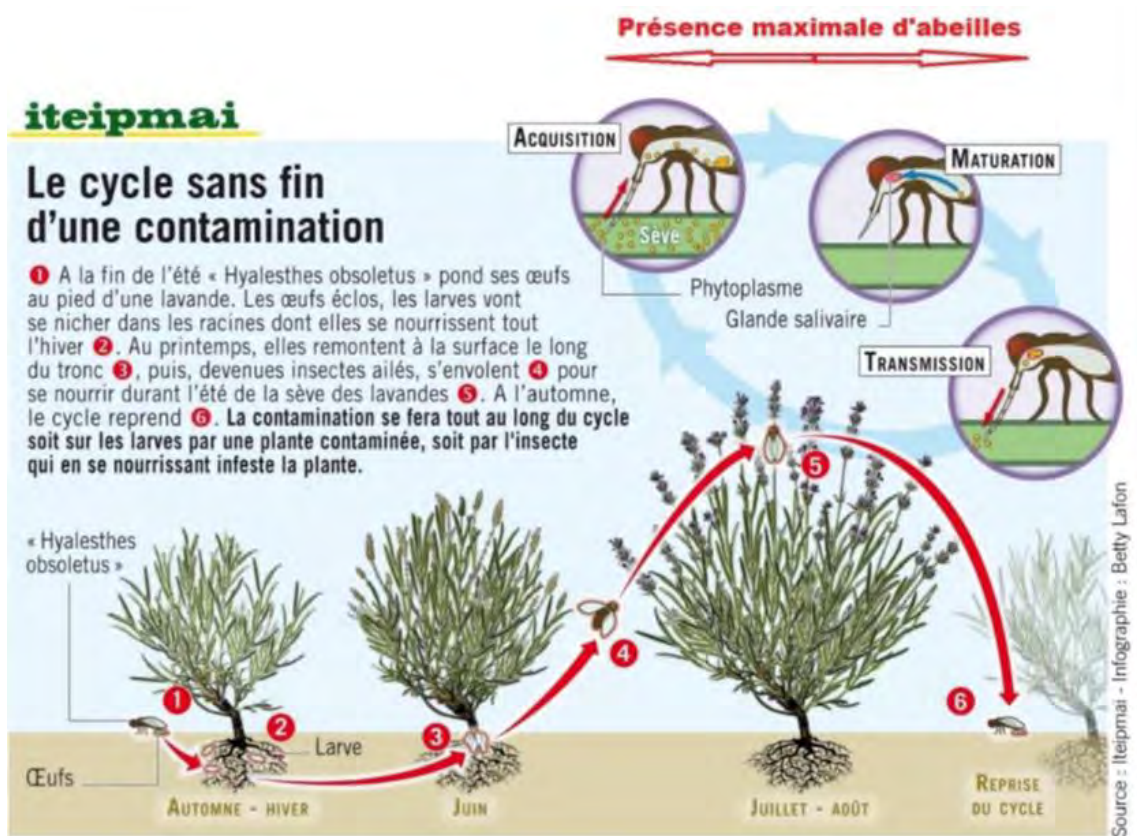
Annexe 4 : Evolution des consommations en eau d'irrigation sur le plateau de Valensole



Source : données CUBE, SCP, 2017

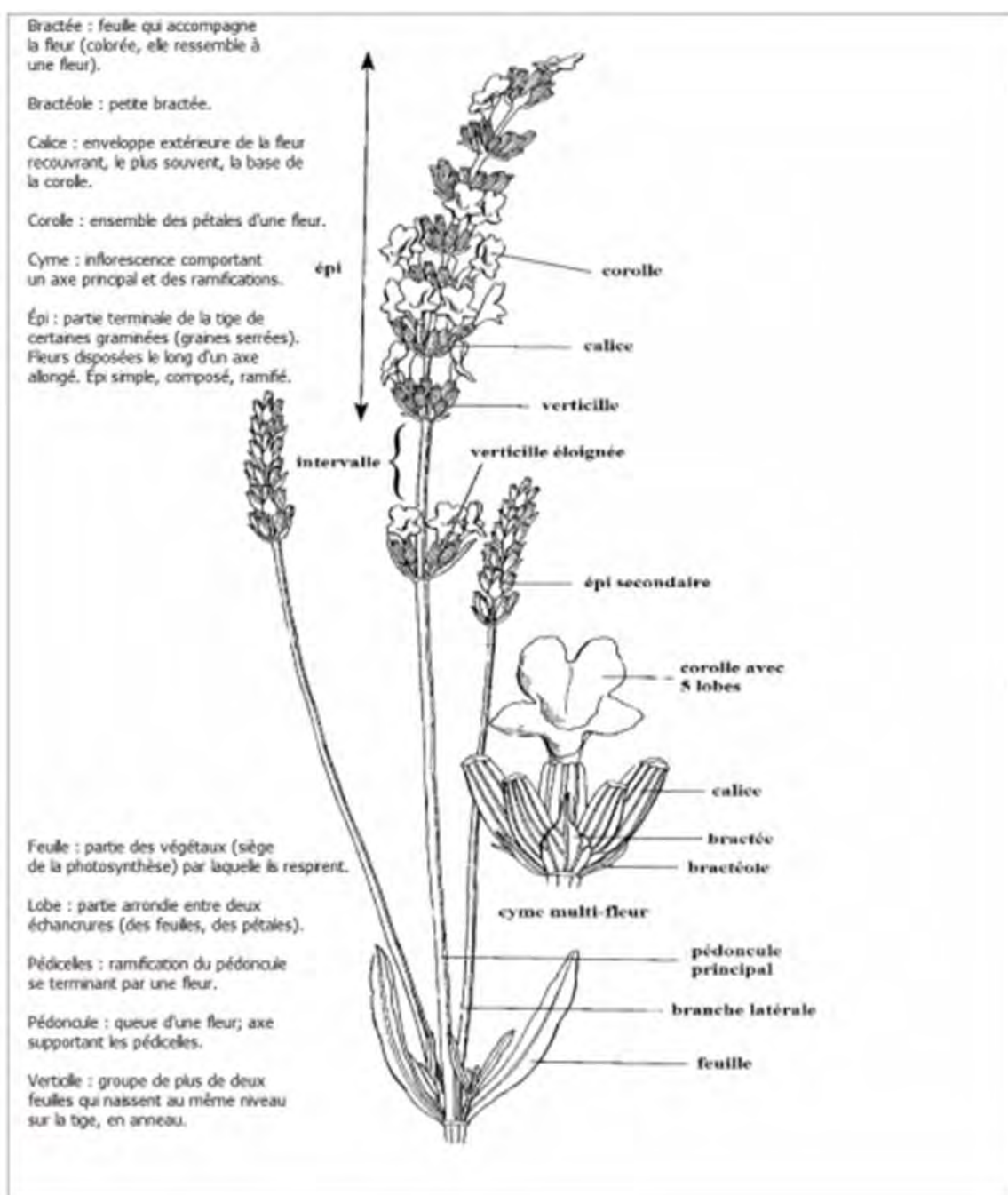
La SCP a mis en place le tarif IEP (Irrigation avec Effacement de Pointe) en 2007, incitatif pour l'irrigation de printemps, réduisant le prix de l'eau si les cultures ne sont pas irriguées entre le 15 juin et le 15 septembre. En effet, le système d'abonnement au prix élevé, associé à un prix du m³ faible, était dissuasif pour l'utilisation de faibles volumes.

Annexe 5 : Le cycle de contamination du phytoplasme de stolbur par l'insecte vecteur, *Hyalesthes obsoletus*



Source : ITEIPMAI

Annexe 6 : Dessin d'une hampe de lavandin



Source : Site internet <https://www.abbaye-saint-hilaire-vaucluse.com/>

Annexe 7 : Les trichomes glandulaires

Figure 1 : Photos de microscopie optique d'une coupe de calice avec la présence de trichome glandulaire ou les composés organiques volatils sont stockés.

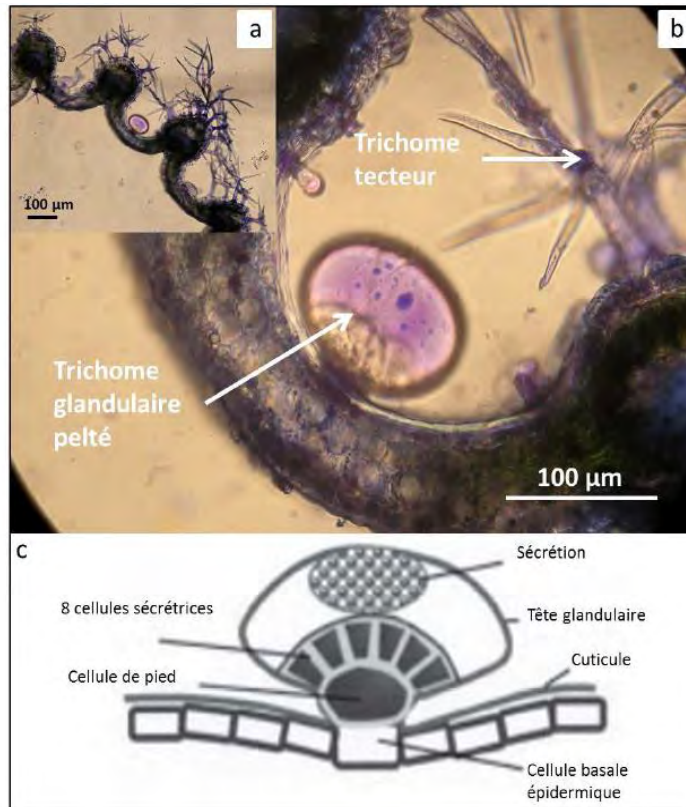
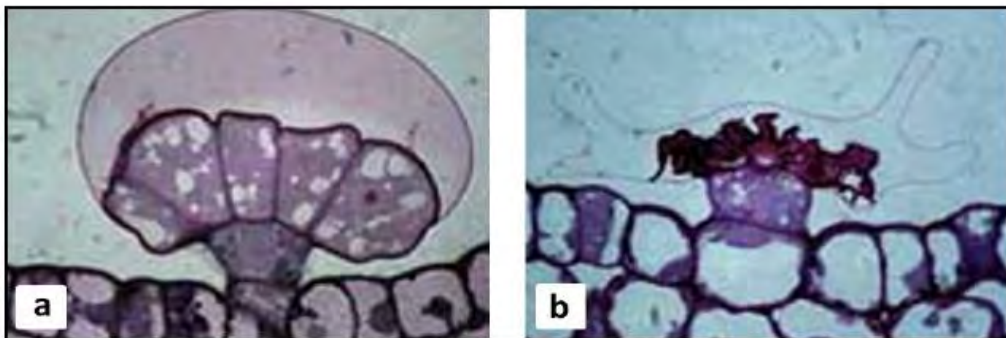


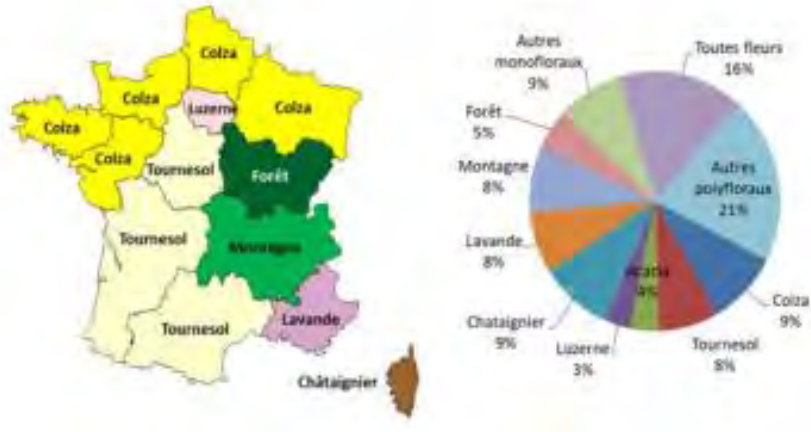
Figure 2 : Photos de microscopie optique de trichome glandulaire de lavande fine après distillation. La vapeur d'eau déchire la cuticule des trichomes glandulaires et entraîne les composés volatils.



Source : Despinasse, 2015

Annexe 8 : La filière du lavandin

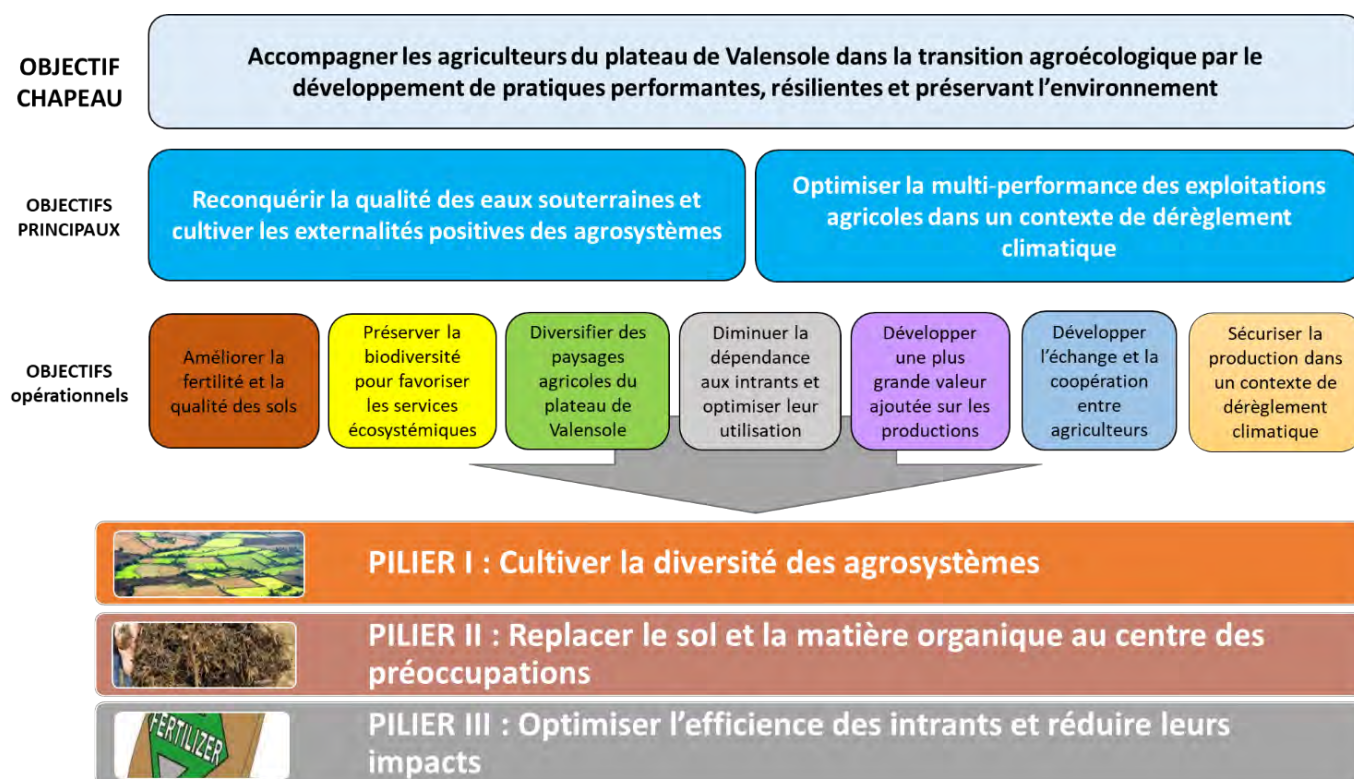
Production nationale par miellée (production 2019 : 21 636 tonnes)



Source : Observatoire de la production de miel et gelée royale, FranceAgriMer 2020.

On constate bien la prépondérance du miel de lavande/lavandin dans la région Provence-Alpes-Côte d'Azur.

Annexe 9 : Les grands objectifs du projet Regain



Source : CODIR Regain, 2020

Annexe 10 : Le rôle de l'eau chez la plante

L'eau s'avère primordiale pour la plante en assurant des fonctions mécaniques et biochimiques. Lorsque le bilan entre la perte d'eau par l'évapotranspiration et l'absorption d'eau du sol par les racines est nul, la plante entre en déficit hydrique (Durand, 2007). Il peut entraîner plusieurs conséquences : un risque d'embolie, une diminution ou un arrêt de la croissance, un flétrissement des parties aériennes et peut engendrer s'il est trop intense ou trop long la mort du plant.

Les plantes sont essentiellement constituées d'eau. Elle est indispensable pour de nombreux mécanismes :

- A l'échelle moléculaire, l'eau agit comme matrice pour toutes les réactions enzymatiques pour la photosynthèse et apporte de l'hydrogène et de l'oxygène.
- A l'échelle de la cellule, l'eau a un impact direct sur l'architecture des organes et leur élongation.
- A l'échelle de la plante, elle permet l'assimilation des solutés présents dans le sol et leur migration vers les parties aériennes de la plante, tout en assurant en parallèle une régulation thermique des tissus exposés aux rayons du soleil.

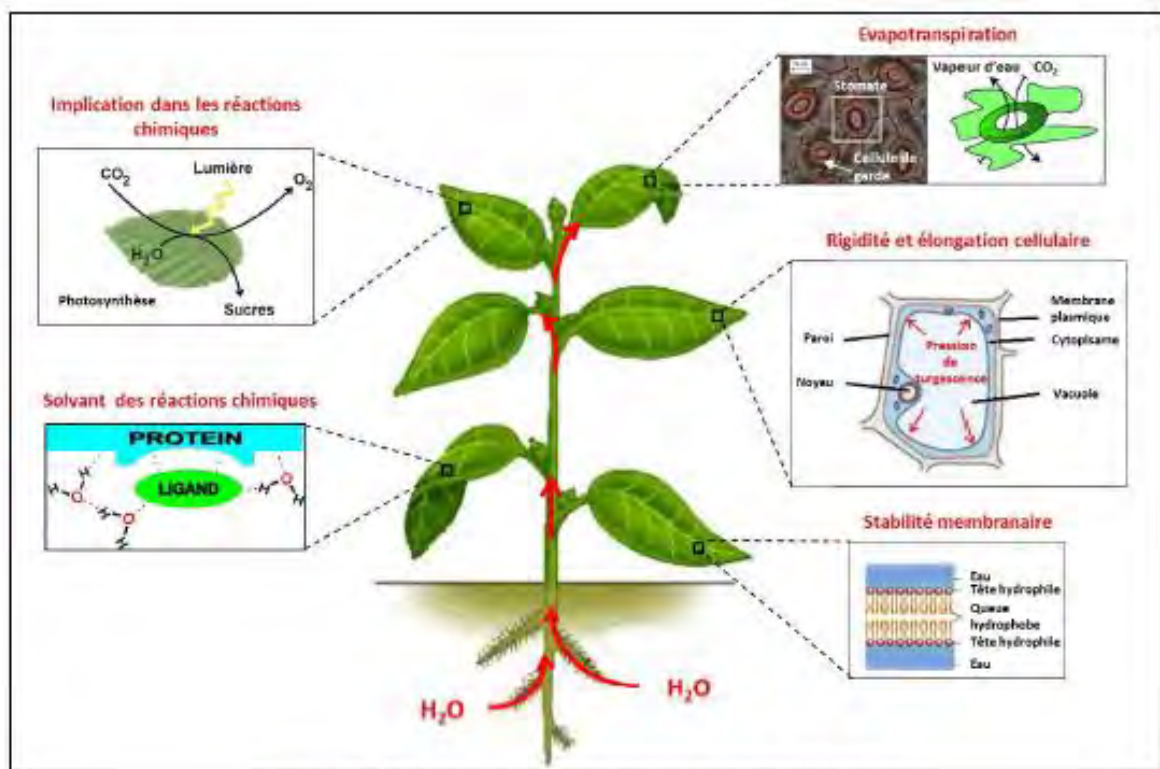


Figure 19 : Vue d'ensemble des rôles de l'eau chez les végétaux

Source : Thèse Yolande Despinasse, 2015

Annexe 11 : L'outil SCP AgriData

Figure 1 : Tableau de bord avec les indicateurs



Tableau de bord relatif aux données météo en temps réel sur une parcelle du réseau, Source : SCP AgriData

L'outil SCP AgriData présente des tableaux de bords modulables, où les indicateurs et les données en temps réel peuvent être rassemblés.

Annexe 12 : Placette de suivi du développement

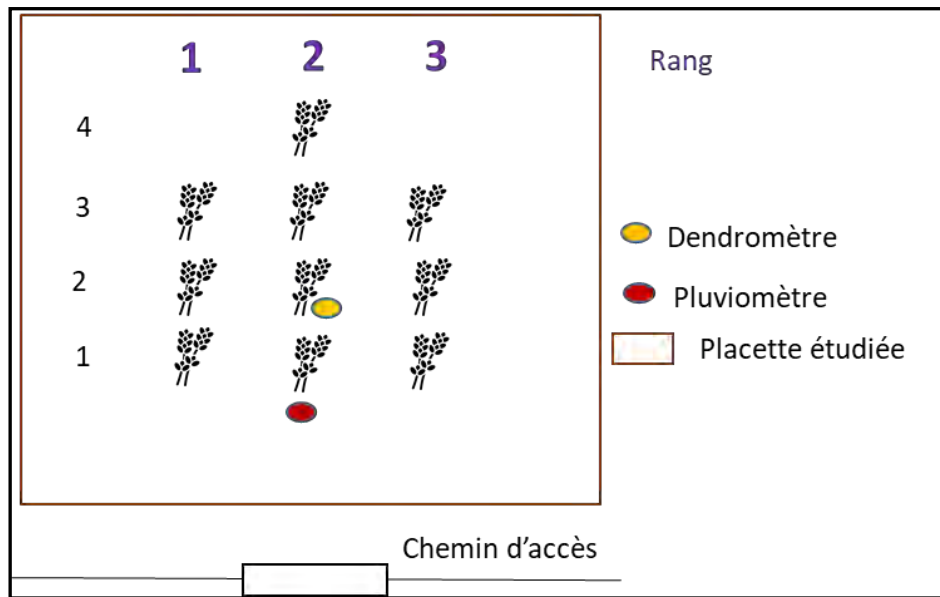
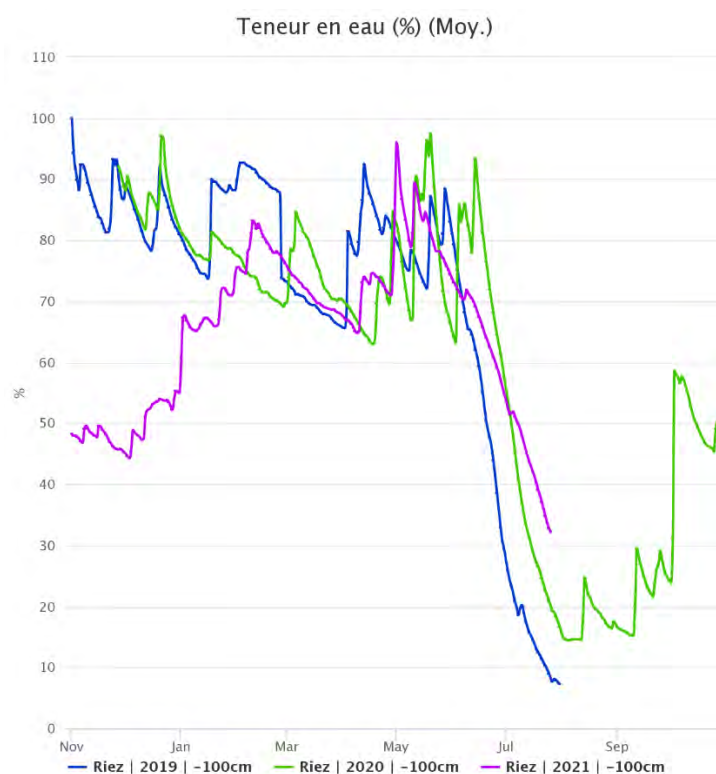


Schéma d'un exemple de placette sélectionnée sur une parcelle du réseau. 10 plants ont été mesurés pour calculer le volume. Les composantes du rendement ont été mesurées sur les 4 plants autour du pluviomètre.

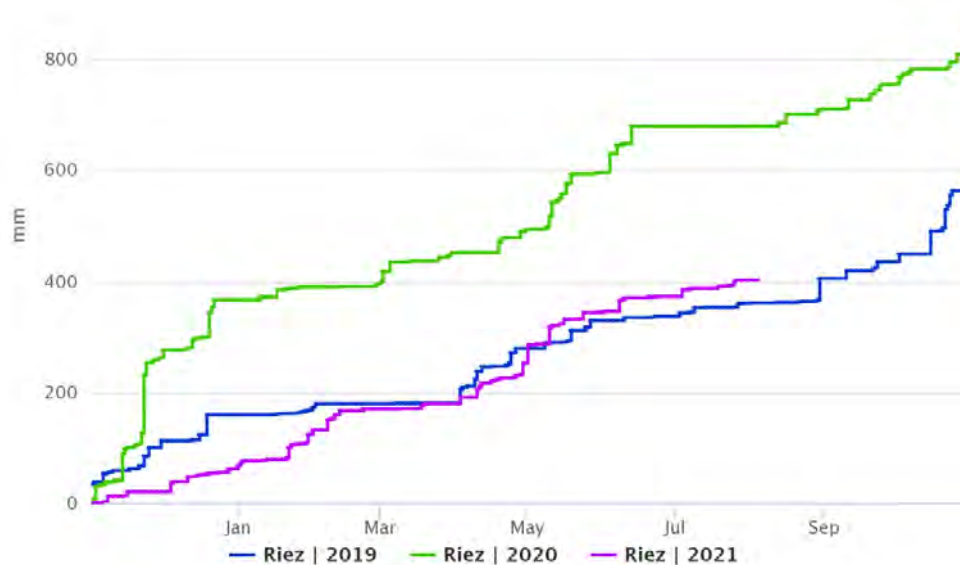
Annexe 13 : Répartition des dates par décade pour les 3 campagnes

		Campagne		
		2019	2020	2021
1	D1		01/11/2019	01/11/2020
	D2		11/11/2019	11/11/2020
	D3		21/11/2019	21/11/2020
	D4		01/12/2019	01/12/2020
	D5		11/12/2019	11/12/2020
	D6		21/12/2019	21/12/2020
	D7		31/12/2019	31/12/2020
	D8		10/01/2020	10/01/2021
	D9		20/01/2020	20/01/2021
	D10		30/01/2020	30/01/2021
	D11		09/02/2020	09/02/2021
	D12		19/02/2020	19/02/2021
	D13		29/02/2020	01/03/2021
	D14		10/03/2020	11/03/2021
	D15		20/03/2020	21/03/2021
2	D16		30/03/2020	31/03/2021
	D17	09/04/2019	09/04/2020	10/04/2021
	D18	19/04/2019	19/04/2020	20/04/2021
	D19	29/04/2019	29/04/2020	30/04/2021
	D20	09/05/2019	09/05/2020	10/05/2021
	D21	19/05/2019	19/05/2020	20/05/2021
	D22	29/05/2019	29/05/2020	30/05/2021
3	D23	08/06/2019	08/06/2020	09/06/2021
	D24	18/06/2019	18/06/2020	19/06/2021
	D25	28/06/2019	28/06/2020	29/06/2021
	D26	08/07/2019	09/07/2020	09/07/2021
	D27	18/07/2019	18/07/2020	19/07/2021
4	D28	28/07/2019	28/07/2020	29/07/2021
	D29	07/08/2019	07/08/2020	08/08/2021
	D30	17/08/2019	17/08/2020	18/08/2021
	D31	27/08/2019	27/08/2020	28/08/2021
	D32	06/09/2019	06/09/2020	07/09/2021
	D33	16/09/2019	16/09/2020	17/09/2021
	D34	26/09/2019	26/09/2020	27/09/2021
	D35	06/10/2019	06/10/2020	07/10/2021
	D36	16/10/2019	16/10/2020	17/10/2021
	D37	26/10/2019	26/10/2020	27/10/2021

Annexe 14 : Evolution de la teneur en eau dans le sol et des précipitations



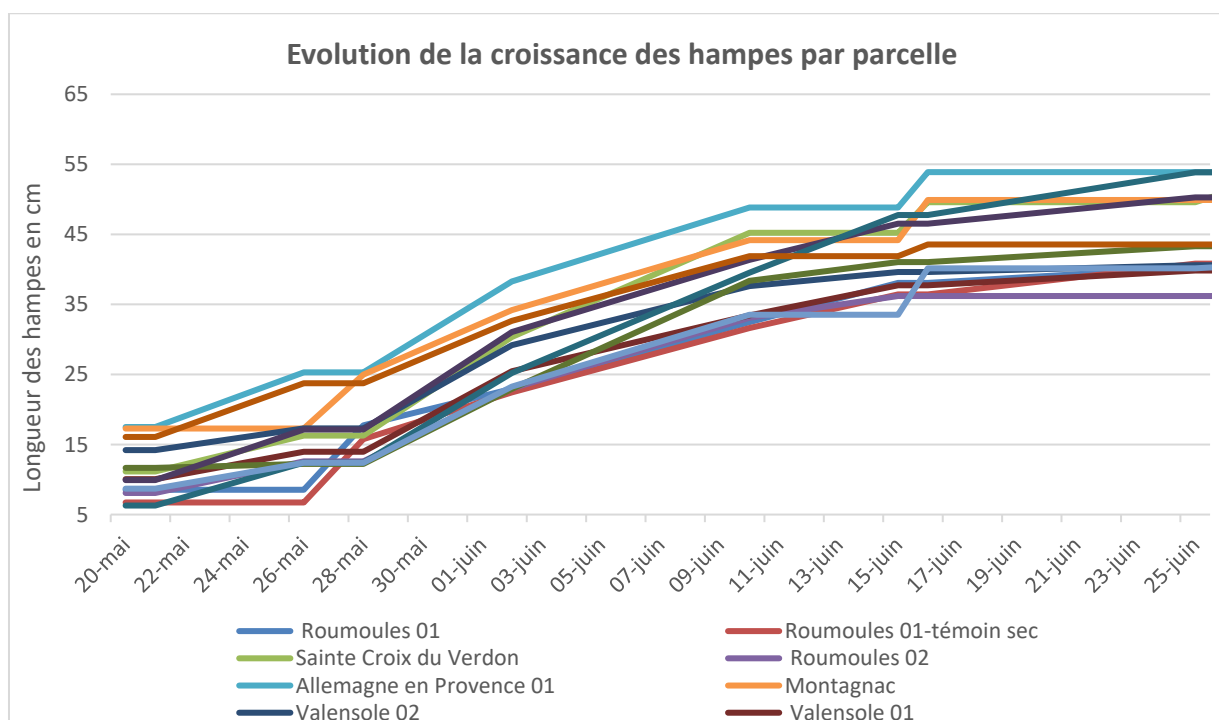
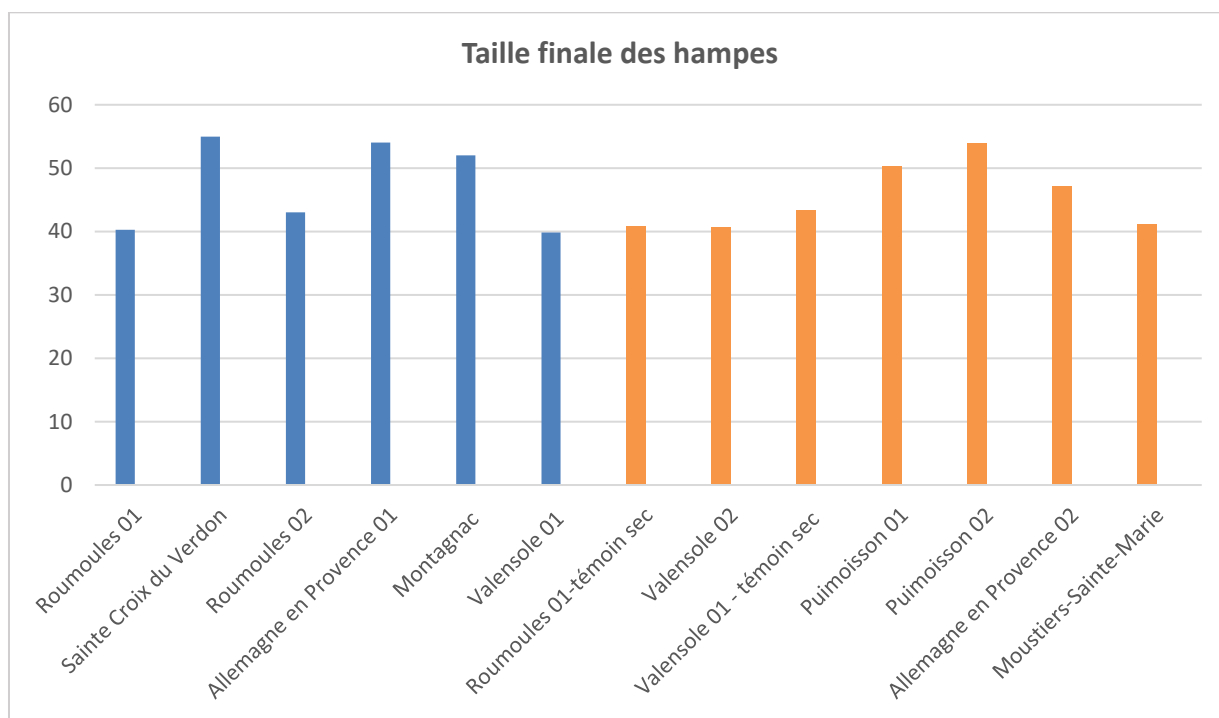
L'évolution de la teneur en eau dans le sol met bien en évidence le déficit de précipitations au cours de l'hiver de la campagne 2021. Néanmoins, les sols ont réussi à se recharger autant que les années antérieures grâce aux précipitations de janvier et d'avril.



Source : SCP AgriData, données issues de capteurs installés à Riez.

Annexe 15 : Graphiques du suivi terrain 2021

Figure 1 : Taille finale des hampes mesurée sur les parcelles du réseau (10 mesures aléatoires effectuées par plant, 4 plants suivis).



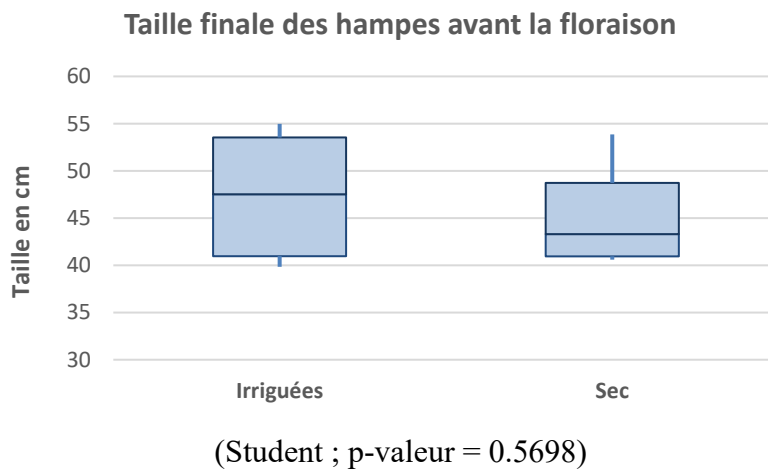


Figure 2 : Moyenne de la longueur de l'épi finale (c'est-à-dire à la fin de la P2) entre parcelles irriguées et en sec. Moyenne des mesures effectuées sur 10 hampes aléatoires par plant, 4 plants suivis.

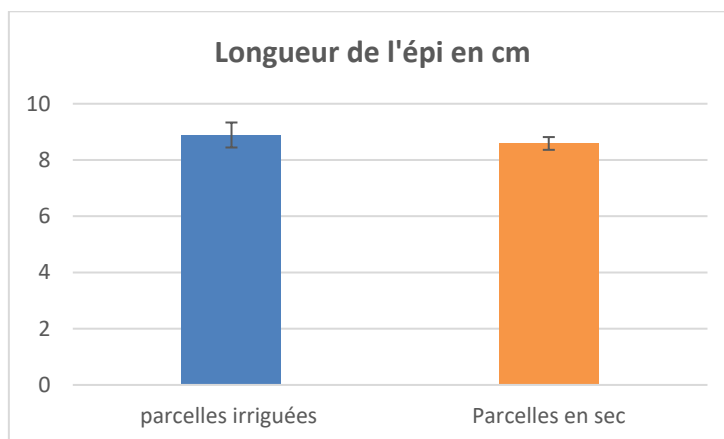
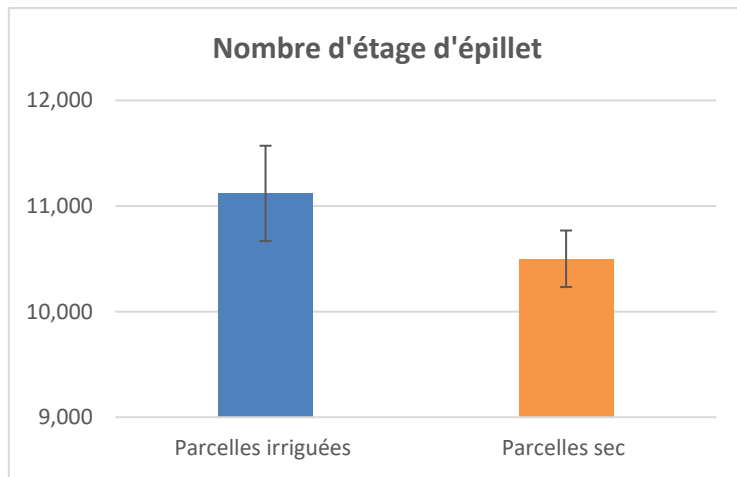


Figure 3 : Moyenne du nombre d'étage d'épillet (c'est-à-dire à la fin de la P2) entre parcelles irriguées et en sec. Moyenne de mesures effectuées sur 10 hampes aléatoires par plant, 4 plants suivis.



Annexe 16 : Volume moyen post-récolte des plants sur l'ensemble des parcelles

Figure 1 : Volume moyen des plants en 2019, graphique réalisé à partir des données issues du Crieppam.

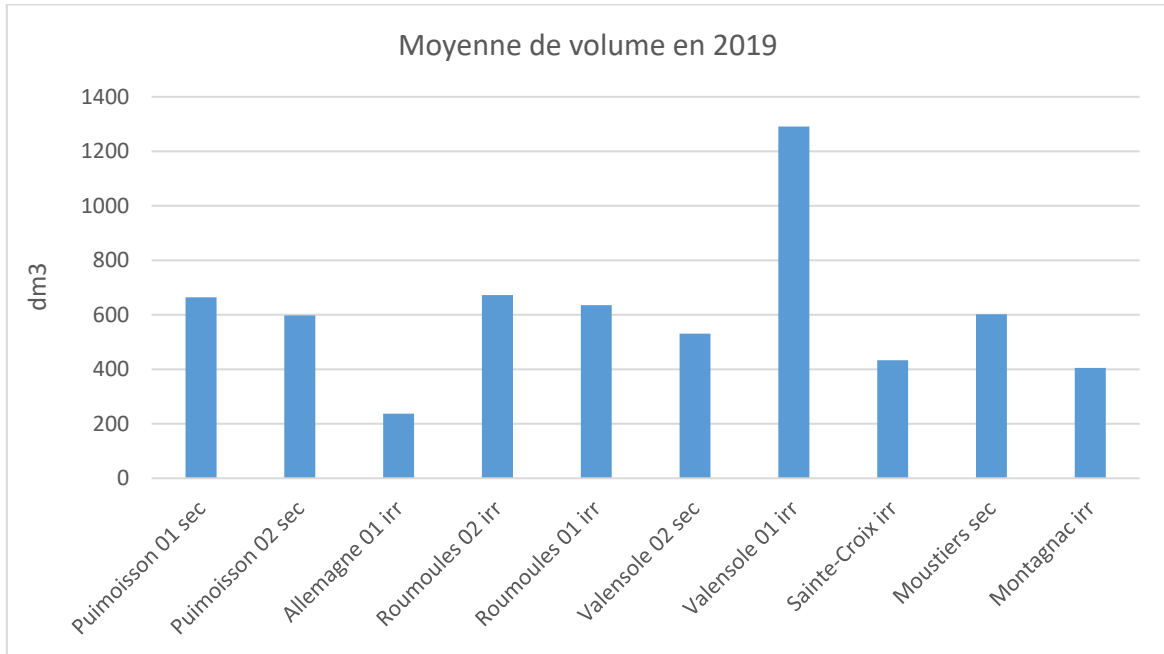


Figure 2 : Volume moyen en 2020, graphique réalisé à partir des données issues du Crieppam.

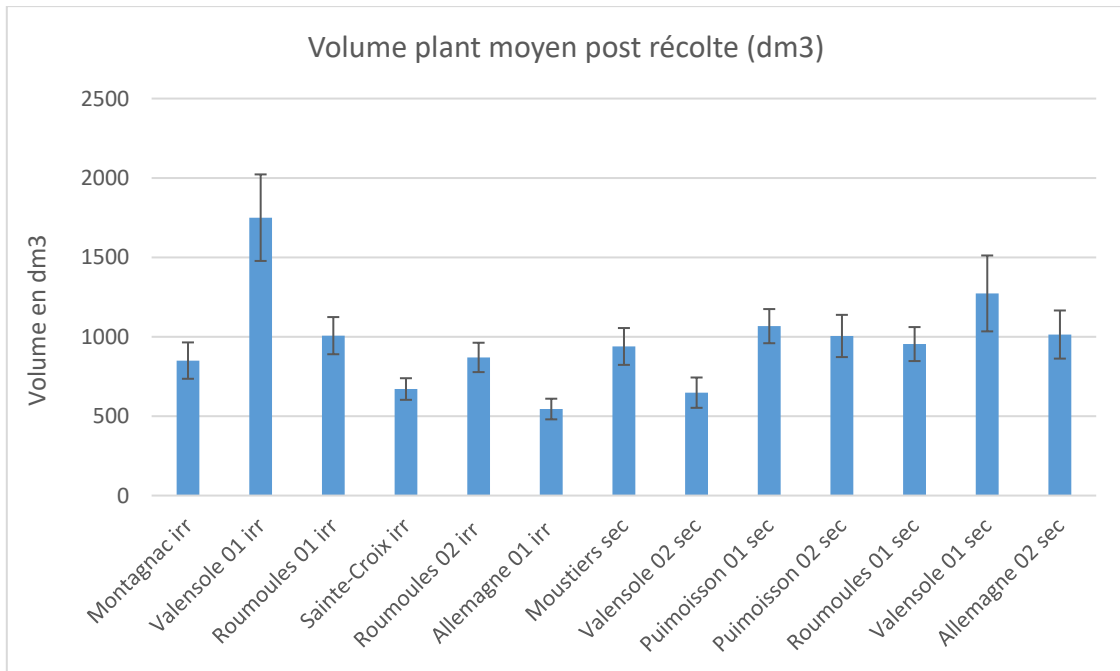
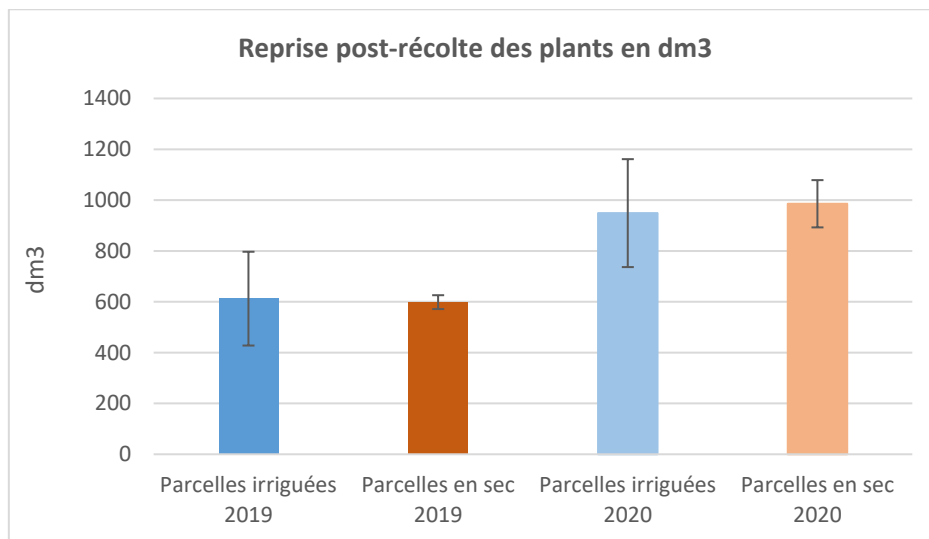
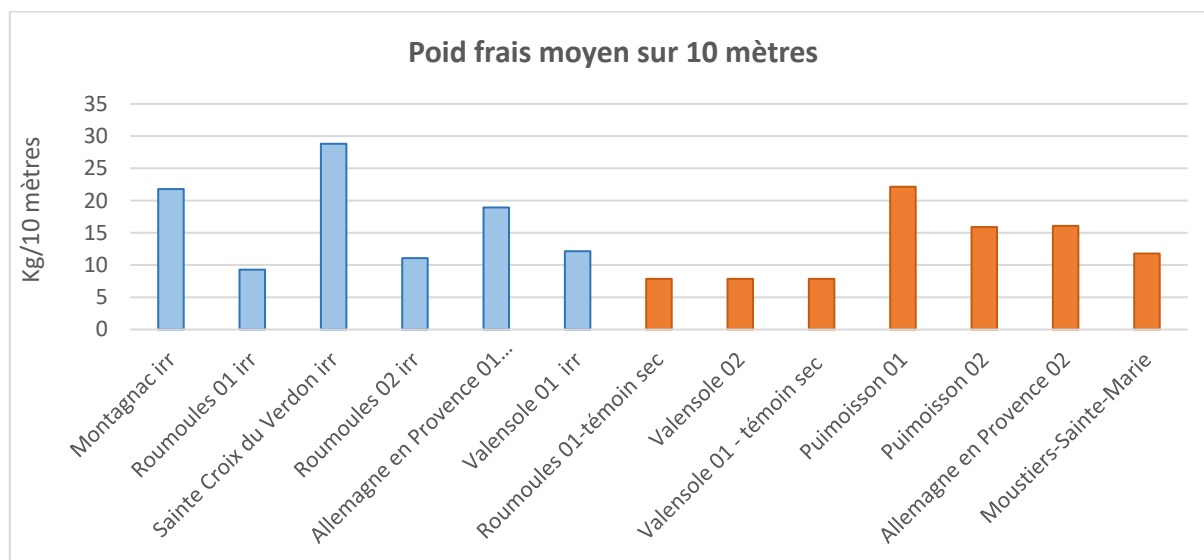


Figure 3 : Reprise post-récolte des plants entre groupes irrigué et en sec en 2019 et 2020, graphiques réalisés à partir des données production du Crieppam.

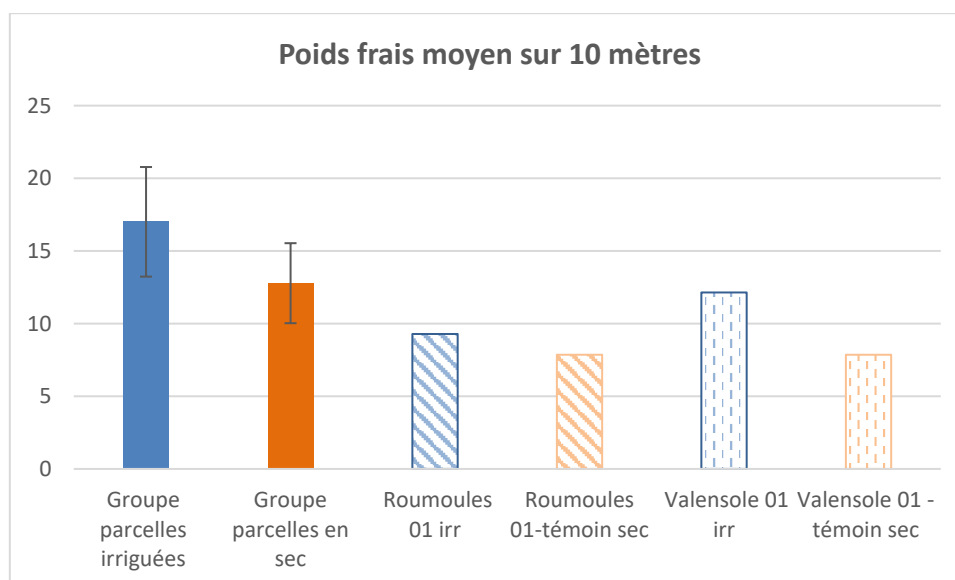


Annexe 17 : Résultats de la production pour la campagne 2021

Figure 1 : Poids frais moyen des plants récoltés, extrapolé sur 10 mètres.



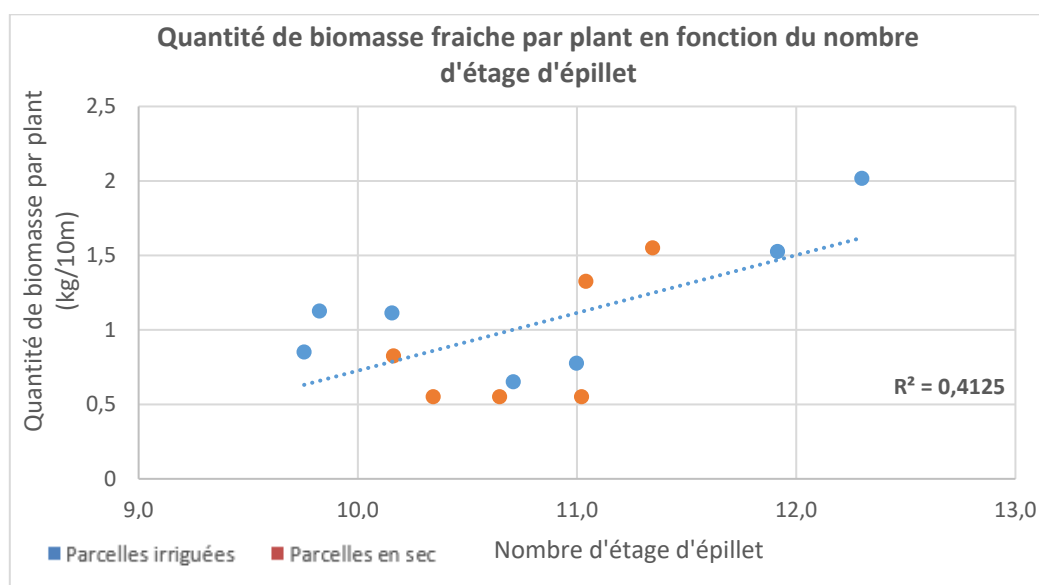
La moyenne du groupe de parcelles irriguées tend à une production plus forte que la moyenne en sec, néanmoins, la différence n'est pas significative (Student ; p-value = 0.285). Concernant les parcelles irriguées avec témoin, les résultats vont dans le même sens avec une production plus importante sur les parties irriguées.



Poids frais moyen entre (i) groupes de parcelles irriguées et en sec ; (ii) entre les parcelles irriguées et leur témoin en sec

Données extrapolées à partir des 4 plants récoltés. On considère 14 plants espacés de 0.70 m sur 10 mètres.

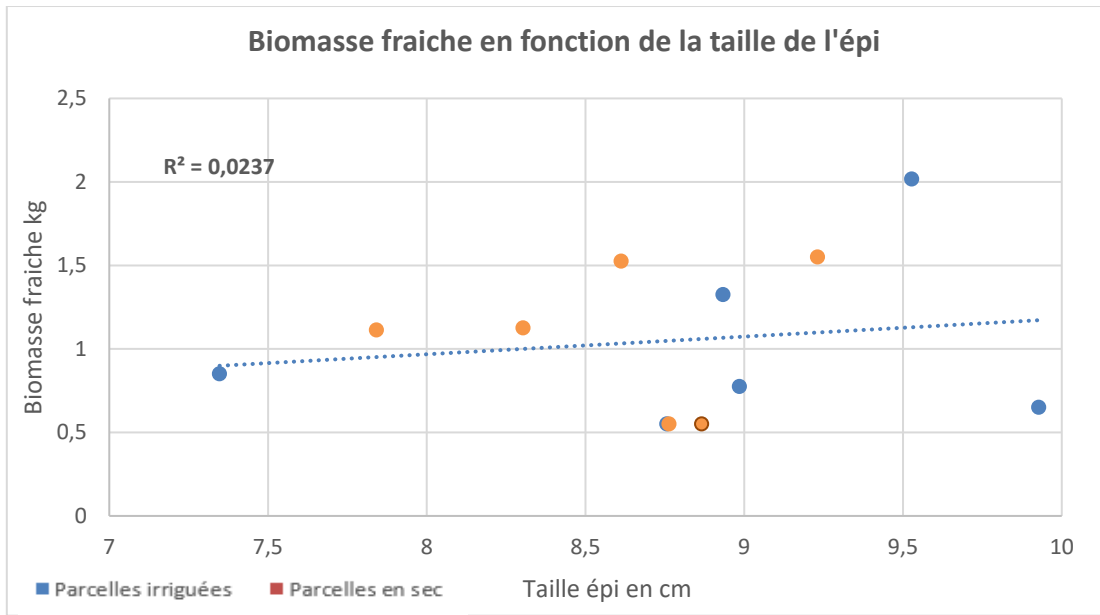
Figure 2 : Relation entre la biomasse fraîche d'un plant et le nombre d'étage d'épillet présent sur ses épis. Le nombre d'épillet ainsi que la longueur de l'épi ont été comptabilisés et mesurés respectivement avant la récolte¹⁴. La biomasse fraîche étant très corrélée à l'essence produite, il peut être intéressant de prendre en considération le nombre d'étage d'épillets où la longueur de l'épi (toutes deux corrélées au nombre de calice) dans les composantes du rendement du lavandin. Aussi, la quantité de biomasse fraîche en fonction du nombre d'étage d'épillet et de la longueur de l'épi ont été étudiées :



Une faible corrélation (régression linéaire ; $R^2 = 0,41$) s'est dégagée entre le nombre d'étage d'épillet comptabilisé sur les hampes et la biomasse fraîche du plant, même si les parcelles de Sainte-Croix et Montagnac se dégagent

De même pour la longueur de l'épi (régression linéaire ; $R^2 = 0,02$). Les résultats ne permettent donc pas d'affirmer un lien fort entre les indicateurs.

¹⁴ L'essence est principalement issue des calices du lavandin.



Annexe 18 : Résultats de la production

Figure 1 : Rendement moyen en essence sur 10 mètres (en mL) du groupe parcelles irriguées et du groupe en sec, pour les campagnes 2019 et 2020. Source : données issues du CRIEPPAM

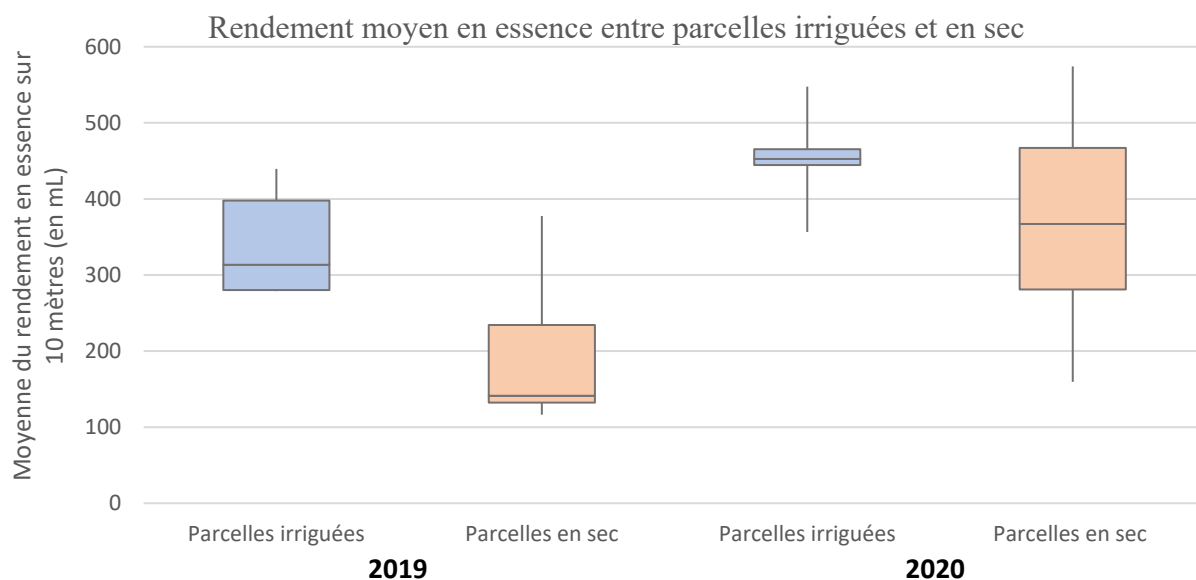
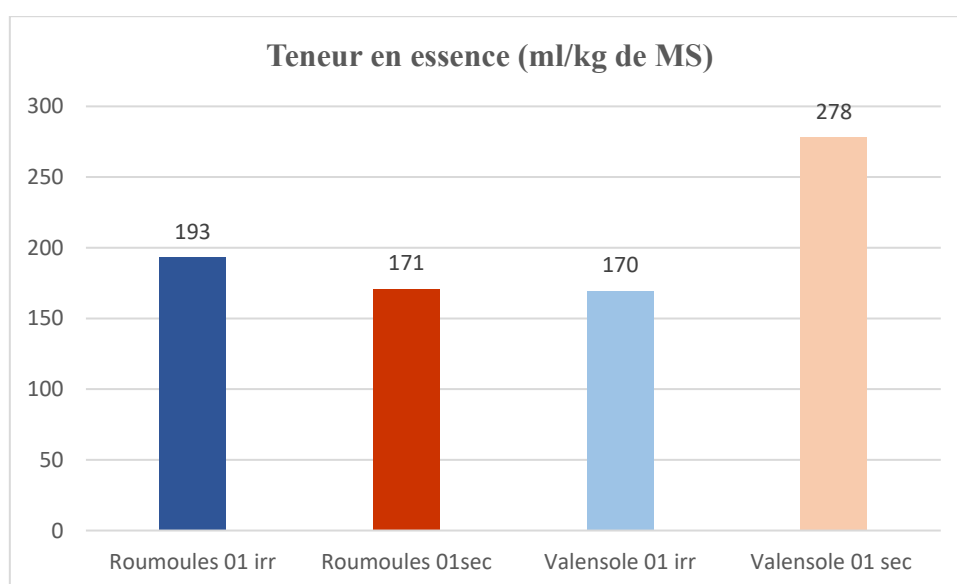
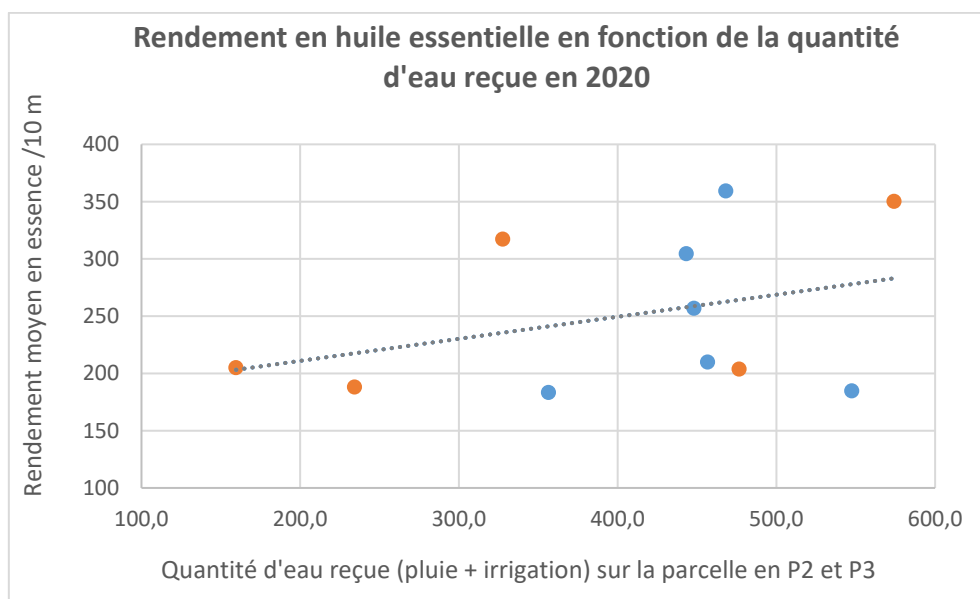
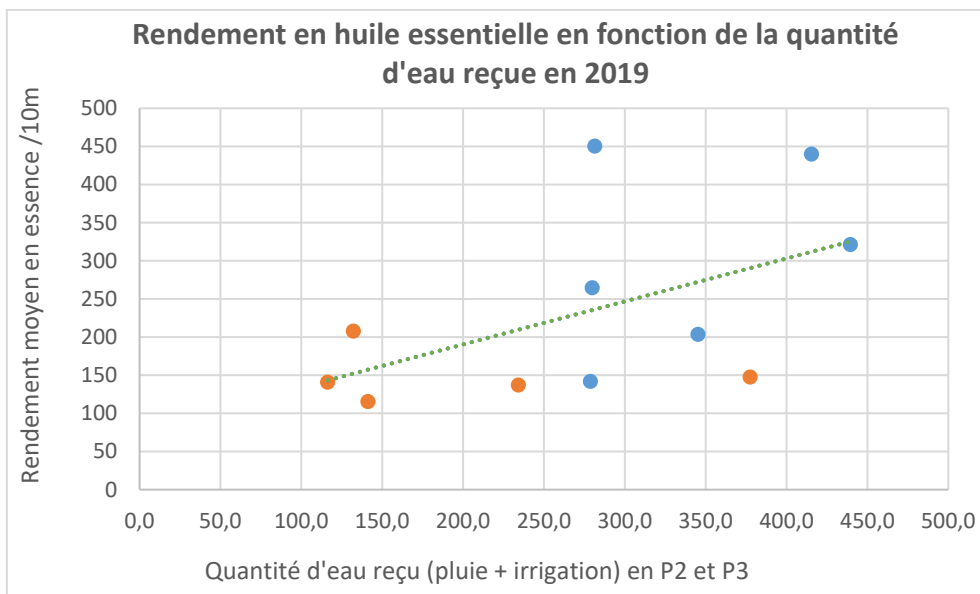


Figure 2 : Teneur en essence pour les deux parcelles avec témoin en 2020.



Annexe 19 : Rendement en huile essentielle en fonction de la quantité d'eau reçue



Annexe 20 : Analyse de la qualité de l'huile essentielle

Figure 1 : Analyse de la qualité de l'huile essentielle sur chaque parcelle en 2019. Résultats issus d'une chromatographie en phase gazeuse souvent couplé à un spectromètre de masse. Source : Crieppam, 2019

Code Modalité	AFNOR Grosso		Allemagne 01 (irr)	Montagnac (irr)	Sainte-Croix (irr)	Valensole 01 (irr)	Roumoules 01 (irr)	Valensole 02 (sec)	Moustiers (sec)	Puimoisson 01 (sec)	Roumoules 02 (sec)
CIS 3 HEXENOL			0,02	0,01	0,01	0	0,01	0	0,01	0,01	0
HEXANOL			0	0,01	0,01	0	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01
MYRCENE	0,3	1	0,46	0,45	0,46	0,49	0,46	0,61	0,41	0,52	0,51
CINEOL	4	8	7,12	6,85	7,96	6,9	7,96	6,92	6,65	7,17	8,91
LIMONENE	0,5	1,5	0,7	0,76	0,73	0,76	0,73	0,74	0,62	0,79	0,8
CIS BETA OCIMENE	0,5	1,5	1,13	1,07	1,15	0,93	1,15	1,37	1,21	1,08	1,12
TRANS BETA OCIMENE		1	0,14	0,12	0,12	0,15	0,12	0,31	0,12	0,17	0,15
LINALOL	24	37	24,39	22,05	22,65	22,47	22,65	24,86	24,85	22,58	23,18
ATE OCTENYLE			0,15	0,14	0,13	0,15	0,13	0,1	0,09	0,14	0,12
CAMPRE	6	8,5	7,41	8,23	7,32	8,03	7,32	7,14	7,07	7,89	8,18
BORNEOL	1,5	3,5	2	1,79	1,74	1,85	1,74	1,51	2,23	1,79	2,08
LAVANDULOL	0,2	1	0,4	0,28	0,34	0,29	0,34	0,42	0,31	0,34	0,28
TERPINENE 1 OL 4	1,5	5	2,58	2,14	2,22	2,26	2,22	1,84	1,95	2,09	2,32
ALPHA TERPINEOL	0,3	1,3	0,54	0,44	0,46	0,55	0,46	0,6	0,38	0,57	0,58
BUTYRATE HEXYLE	0,3	0,5	0,25	0,27	0,25	0,28	0,25	0,28	0,25	0,28	0,25
ATE LINALYLE	25	38	33,75	35,68	34,08	34,88	34,08	34,61	34,45	33,34	32,45
ATE LAVANDULYLE	1,5	3,5	2,98	2,88	2,88	2,79	2,88	2,74	2,74	3,14	2,81
ATE NERYLE			0,09	0,07	0,06	0,12	0,06	0,19	0,06	0,13	0,08
ATE GERANYLE			0,17	0,14	0,12	0,23	0,12	0,36	0,11	0,25	0,14
CARYOPHYLENE BETA			1,98	2,33	2,18	2,19	2,18	2,39	2,27	2,34	2,21
HUMULENE ALPHA			1,96	2	2,17	1,91	2,17	2,17	2,32	1,96	2

Figure 2 : Analyse de la qualité de l'huile essentielle sur chaque parcelle en 2020. Résultats issus d'une chromatographie en phase gazeuse souvent couplé à un spectromètre de masse. Source : Crieppam, 2020



Code Modalité	AFNOR Grosso		Montagnac (irr)	Allemagne 01 (irr)	Roumoules 02 (irri)	Valensole 01 (irr)	Sainte-Croix (irr)	Roumoules 01 (irr)	Valensole 01 sec	Puimoisson 01 (sec)	Moustiers (sec)	Roumoules 01 (sec)	Puimoisson 02 (sec)	Valensole 02 (sec)	Allemagne 02 (sec)
CIS 3 HEXENOL			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,02
HEXANOL			0	0,02	0	0	0,02	0,02	0	0,02	0,02	0	0	0,02	0
MYRCENE	0,3	1	0,48	0,44	0,46	0,49	0,54	0,49	0,49	0,47	0,46	0,52	0,46	0,43	0,47
CINEOL	4	8	4,52	4,36	5,84	4,55	5,2	5,28	4,53	5,05	4,1	5,19	3,97	4,92	3,49
LIMONENE	0,5	1,5	0,74	0,66	0,69	0,75	0,78	0,81	0,76	0,72	0,71	0,76	0,76	0,73	0,75
CIS BETA OCIMENE	0,5	1,5	1,21	1,37	1,25	1,1	1,55	1,19	1,13	1,33	1,17	1,51	1,25	1,37	1,17
TRANS BETA OCIMENE		1	0,2	0,2	0,18	0,2	0,25	0,18	0,19	0,19	0,19	0,23	0,18	0,16	0,19
LINALOL	24	37	23,61	25,07	25,2	24,48	26,29	24,34	26,4	24,34	28,93	24,35	24,03	25,16	30,16
ATE OCTENYLE			0,21	0,29	0,18	0,26	0,31	0,18	0,26	0,24	0,19	0,19	0,28	0,2	0,36
CAMPBRE	6	8,5	7,81	6,98	7,34	7,68	7,23	8,07	7,43	7,97	6,66	7,42	7,11	7,67	6,9
BORNEOL	1,5	3,5	2,12	2,88	2,02	2,17	2,21	2,11	2,44	2,02	3,05	2,02	2,58	1,95	2,96
LAVANDULOL	0,2	1	0,2	0,45	0,22	0,18	0,17	0,2	0,24	0,27	0,21	0,17	0,19	0,2	0,4
TERPINENE 1 OL 4	1,5	5	1,75	1,9	2,05	2,11	1,78	1,93	2,55	1,79	1,86	1,8	2,2	2,03	2,62
ALPHA TERPINEOL	0,3	1,3	0,55	0,47	0,51	0,54	0,63	0,48	0,5	0,56	0,51	0,56	0,46	0,32	0,45
BUTYRATE HEXYLE	0,3	0,5	0,23	0,22	0,23	0,26	0,19	0,23	0,26	0,21	0,24	0,22	0,31	0,26	0,27
ATE LINALYLE	25	38	40,01	39,8	38	39,07	37,01	37,63	37,62	39,19	37,05	39,19	39,72	39,39	35,55
ATE LAVANDULYLE	1,5	3,5	2,37	2,33	2,27	2,21	2,13	2,28	2,22	2,15	2,19	2,25	2,25	2,16	2,29
ATE NERYLE			0,15	0,13	0,11	0,15	0,16	0,11	0,13	0,12	0,13	0,14	0,12	0,07	0,12
ATE GERANYLE			0,29	0,26	0,21	0,29	0,32	0,21	0,25	0,24	0,26	0,27	0,25	0,15	0,23
CARYOPHYLENE BETA			1,74	1,64	1,71	1,7	1,56	1,87	1,71	1,68	1,51	1,66	1,9	1,73	1,7
HUMULENE ALPHA			1,49	1,59	1,59	1,52	1,47	1,48	1,49	1,45	1,4	1,48	1,55	1,49	1,42

Figure 3 : Analyse de la qualité de l'huile essentielle sur les parcelles irriguées avec témoin. Pellestor représente la parcelle Valensole 01. Guillemont représente la parcelle Roumoules 01.

Les résultats ont ensuite été comparés aux résultats de l'étude du Crieppam en 2006, sur la réponse du lavandin à l'irrigation.

Résultats issus d'une chromatographie en phase gazeuse souvent couplé à un spectromètre de masse. Source : Crieppam, 2020

Code Modalité	2020				2006		
	Pellestor sec	Pellestor irri	Guillemont sec	Guillemont irri	Sec	A1 (1 arrosage)	A2 (2 arrosages)
CIS 3 HEXENOL	0	0	0	0	NA	NA	NA
HEXANOL	0	0	0,02	0	NA	NA	NA
MYRCENE	0,49	0,49	0,49	0,62	0,362	0,62	0,385
CINEOL	4,53	4,55	5,28	5,19	6,345	6,148	5,877
LIMONENE	0,76	0,75	0,81	0,76	0,608	0,58	0,47
CIS BETA OCIMENE	1,13	1,1	1,19	1,51	2,13	1,87	1,82
TRANS BETA OCIMENE	0,19	0,2	0,18	0,23	0,198	0,167	0,162
LINALOL	26,4	24,48	24,34	24,35	NA	NA	NA
ATE OCTENYLE	0,26	0,26	0,18	0,19	0,305	0,322	0,373
CAMPBRE	7,43	7,68	8,07	7,42	6,413	6,708	6,647
BORNEOL	2,44	2,17	2,11	2,02	1,442	1,525	1,627
LAVANDULOL	0,24	0,18	0,2	0,17	0,177	0,19	0,193
TERPINENE 1 OL 4	2,55	2,11	1,93	1,8	1,342	1,642	1,672
ALPHA TERPINEOL	0,5	0,54	0,48	0,56	0,305	0,338	0,323
BUTYRATE HEXYLE	0,26	0,26	0,23	0,22	0,245	0,235	0,245
ATE LINALYLE	37,62	39,07	37,63	39,19	40,158	39,477	39,598
ATE LAVANDULYLE	2,22	2,21	2,20	2,25	2,202	2,400	2,457
ATE NERYLE	0,13	0,15	0,11	0,14	0,047	0,045	0,045
ATE GERANYLE	0,25	0,29	0,21	0,27	0,097	0,097	0,092
CARYOPHYLENE BETA	1,71	1,7	1,87	1,66	2,032	2,04	2,136
HUMULENE ALPHA	1,49	1,52	1,48	1,48	1,943	1,808	1,848

Légende :  Augmentation par rapport au témoin au sec  Diminution par rapport au sec

Annexe 21 : Taux de dépérissement

Figure 1 : Etat sanitaire globale des parcelles en 2019 ; notation graduelle de 1 (sain) à 4 (mort).

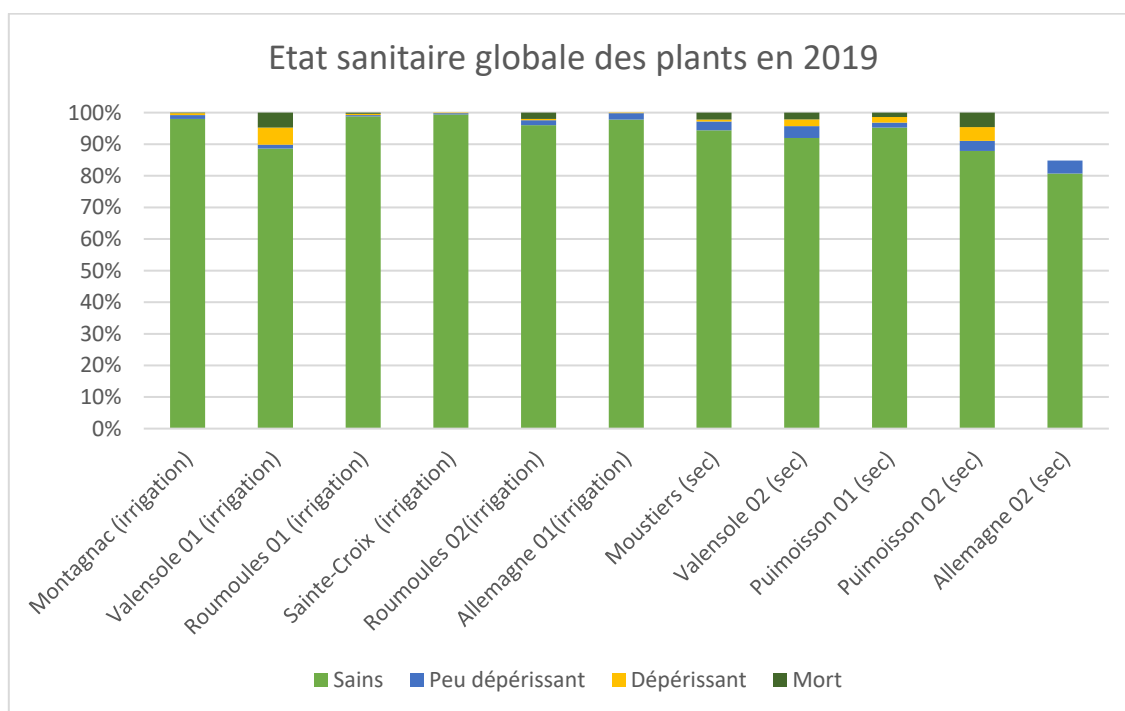


Figure 2 : Etat sanitaire globale des parcelles en 2020

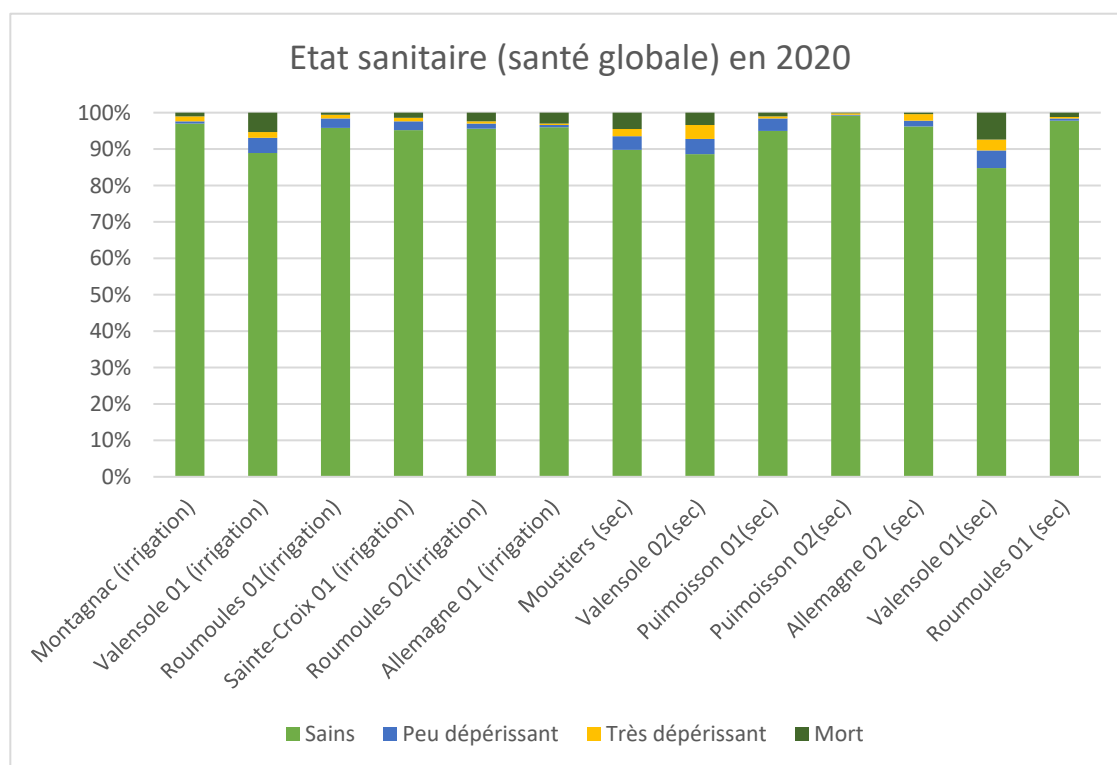
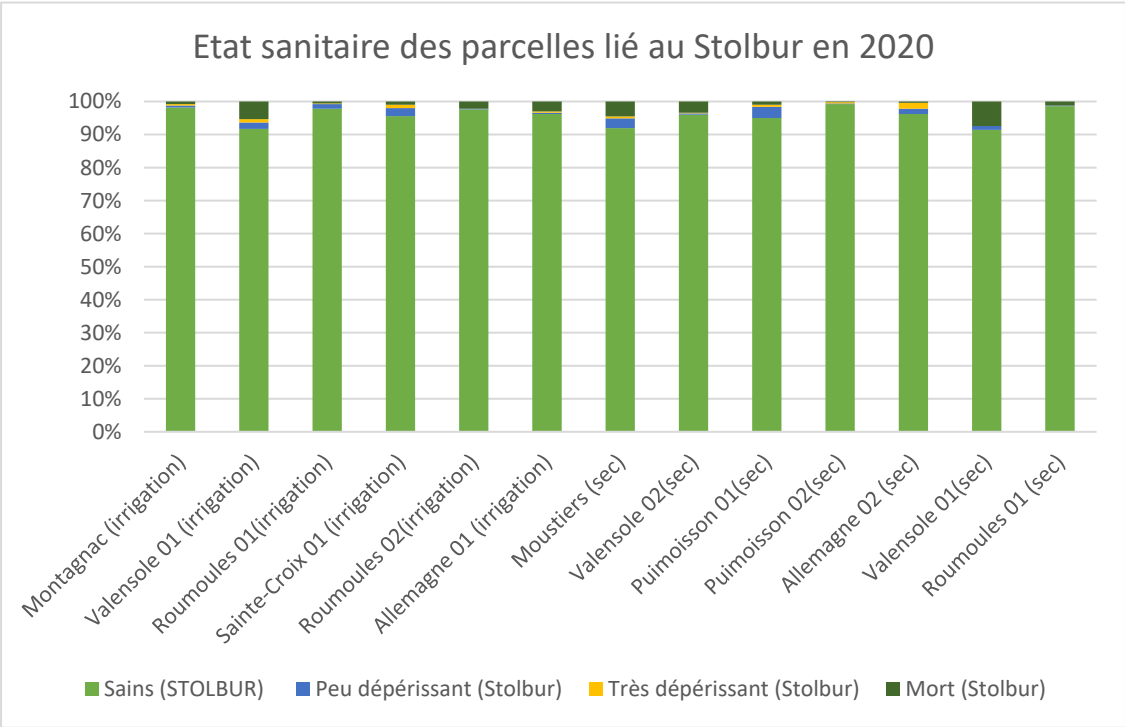
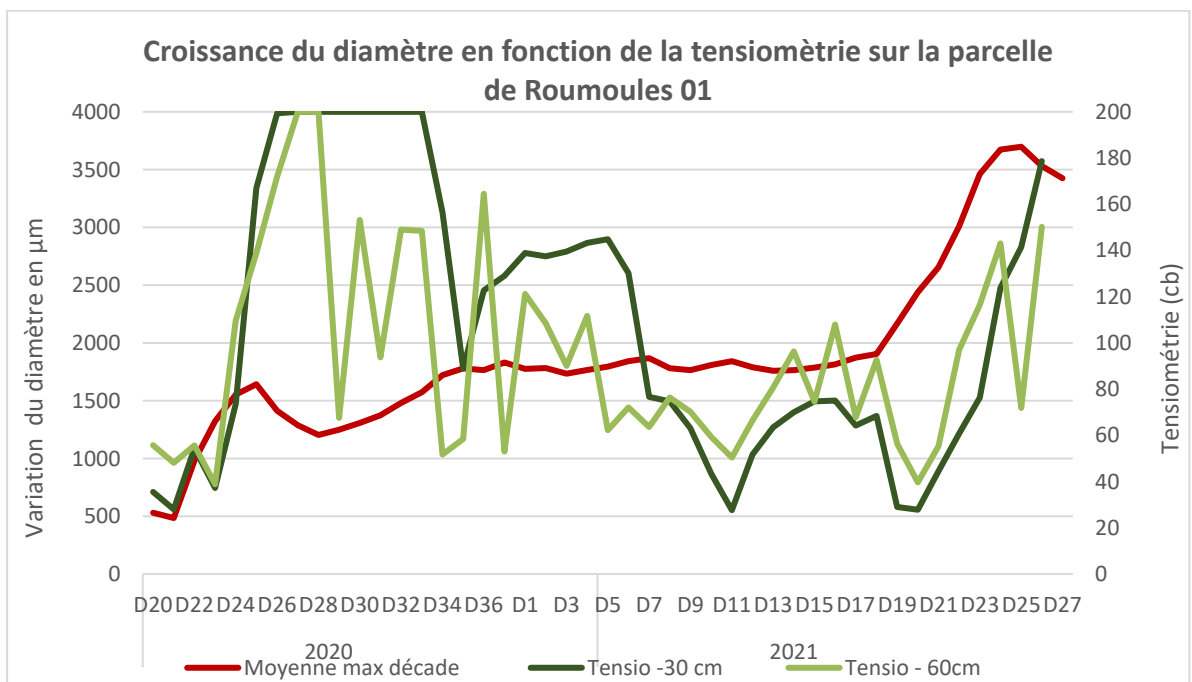
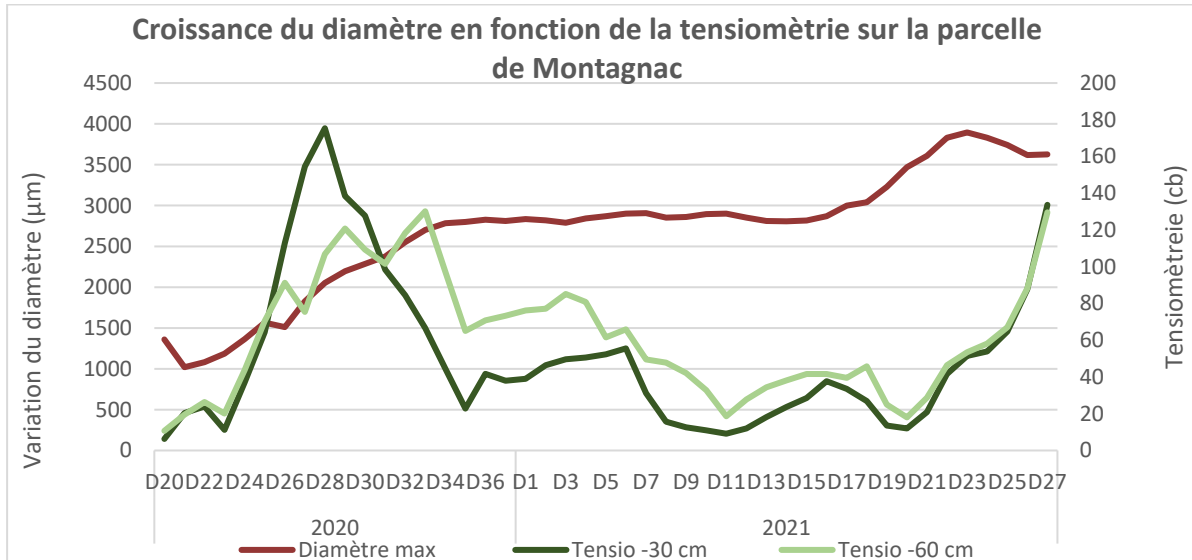


Figure 3 : Etat sanitaire des parcelles en 2020 lié au dépérissement à Stolbur.



Annexe 22 : Relation entre la dendrométrie et la tensiométrie

Les deux graphiques montrent la variabilité de la réponse du dendromètre à la diminution de la disponibilité en eau dans le sol à Montagnac (irrigué) et Roumoules 01 (sec).

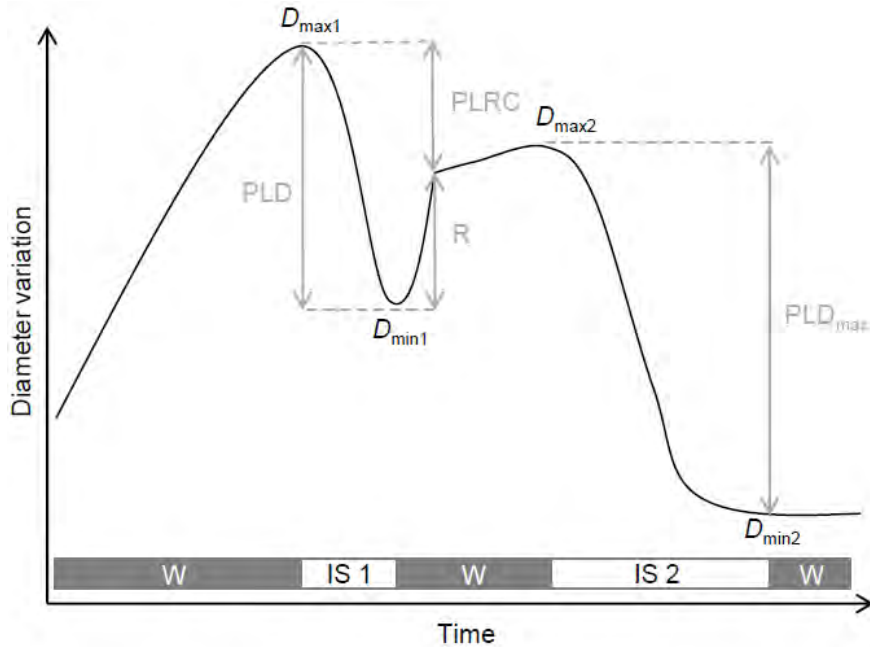


Il a été identifié à Montagnac une rentrée en contraction estivale du plant, témoignant alors d'une réponse à un stress hydrique, bien que le tensiomètre, lui, témoignait d'une disponibilité en eau dans le sol. A Roumoules 01, la rentrée en contraction s'est produite à la même décade (décade 25) que la montée des tensiomètres. Au vu des résultats, la faible disponibilité en eau dans le sol ne semble pas toujours engendrer la contraction. Le tensiomètre ne permet pas d'identifier la date de rentrée en contraction des plants.

Annexe 23 : Variation du diamètre d'une branche de lavandin au cours d'un stress hydrique

Plusieurs indicateurs disponibles avec le dendromètre :

Le taux de contraction :



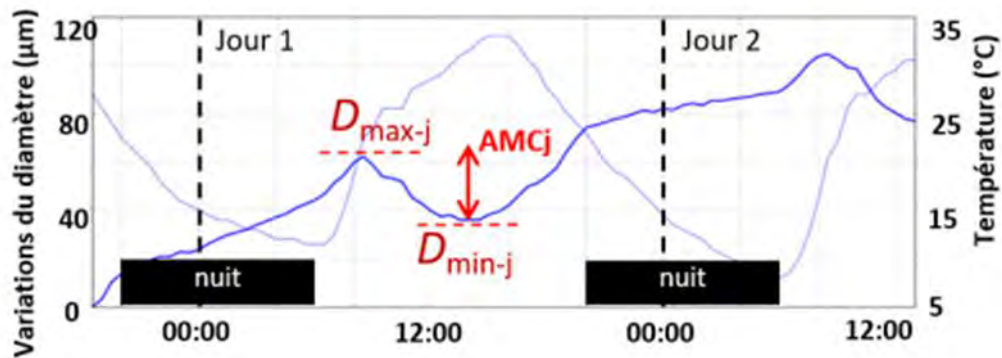
Source : Thèse Lia Lamacque, 2020

Variation d'une branche de lavandin, suivie par un dendromètre, au cours de deux stress hydriques pour analyser sa récupération. Le premier (IS 1) est d'intensité moyenne, le second (IS 2) est d'intensité très forte. Aussi le **taux de contraction** est le pourcentage de diamètre perdue de la branche, et le PLD max est le pourcentage maximum de diamètre perdu entraînant la mort du plant. Il a été estimé à une perte de 21 % du diamètre initiale (Lamacque, 2020).

Il a été calculé sur les deux parcelles suivies avec la formule suivante :

$$\text{Taux de contraction (\%)} = \frac{(D_{max} - D_{min})}{D_{max}} \times 100$$

L'AMC j :

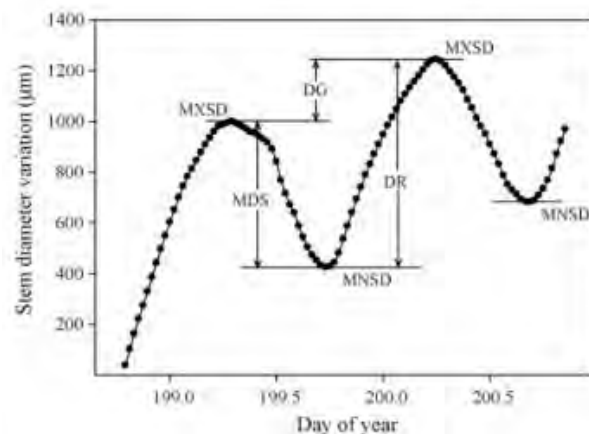


Source : Lamacque, 2020

Dès que la transpiration cesse d'augmenter la nuit, la plante reconstitue ses réserves, à la condition qu'il y ait de l'eau disponible dans le sol. Le matin lorsque la demande climatique commence à augmenter, l'eau est déstockée pour approvisionner le feuillage pour sa photosynthèse. Le suivi de cet indicateur permet de voir si la demande hydrique est faible ou importante.

$$AMCJ = D_{max\ j1} - D_{max\ j1}$$

Le taux de croissance (journalier, mensuel, périodique) :



MXSD = maximum stem diameter

MNSD = minimum stem diameter

$MDS_{day} = \text{maximum daily shrinkage} = MXSD_{day} - MNSD_{day}$

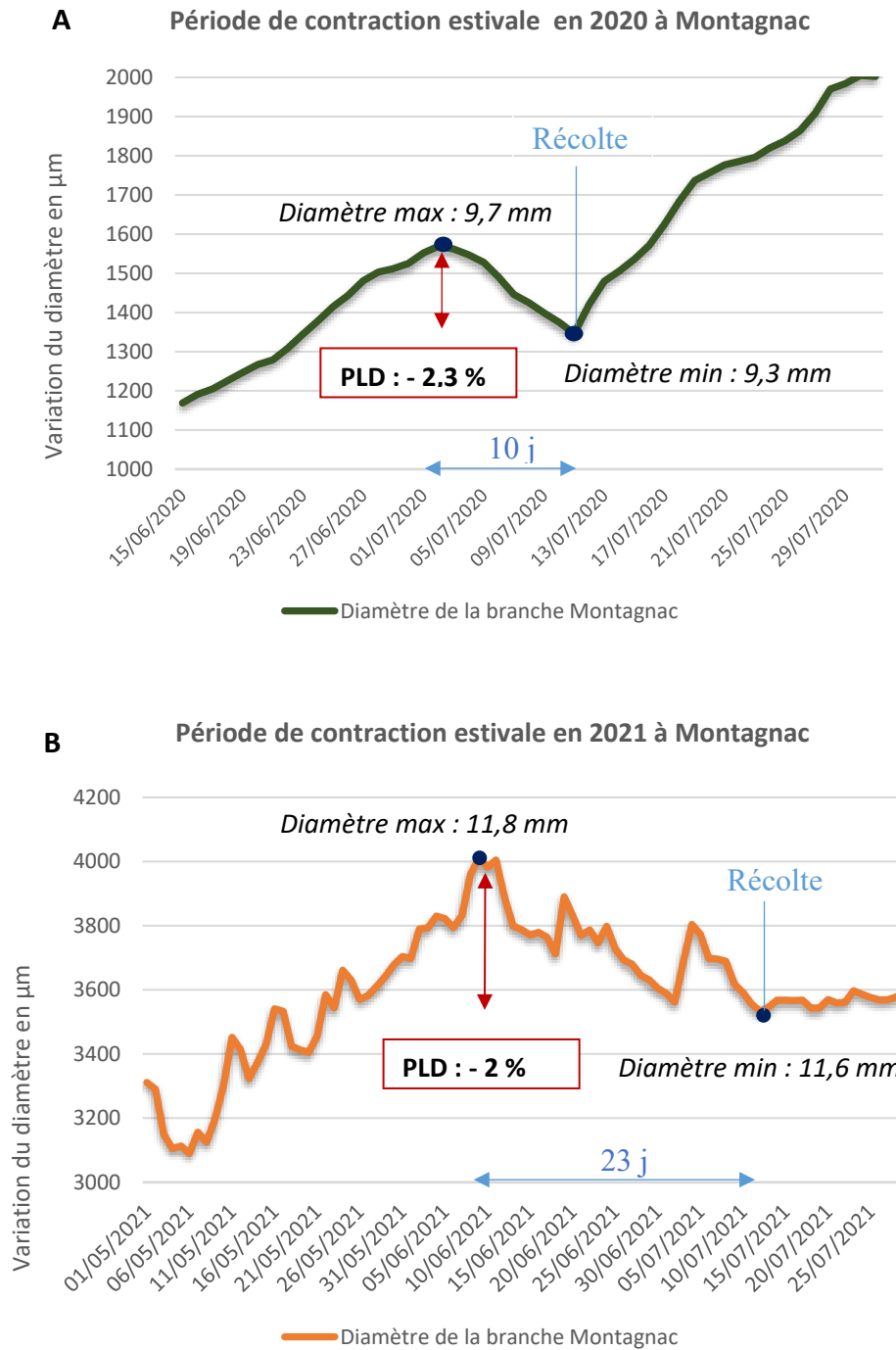
$DR_{day} = \text{daily recovery} = MXSD_{day+1} - MNSD_{day}$

$DG_{day} = \text{daily growth} = MXSD_{day+1} - MXSD_{day}$

Source : Saurin, 2014

Le graphique ci-dessus représente la croissance journalière de la branche notée DG, avec l'amplitude jour/nuit, noté ici MDS.

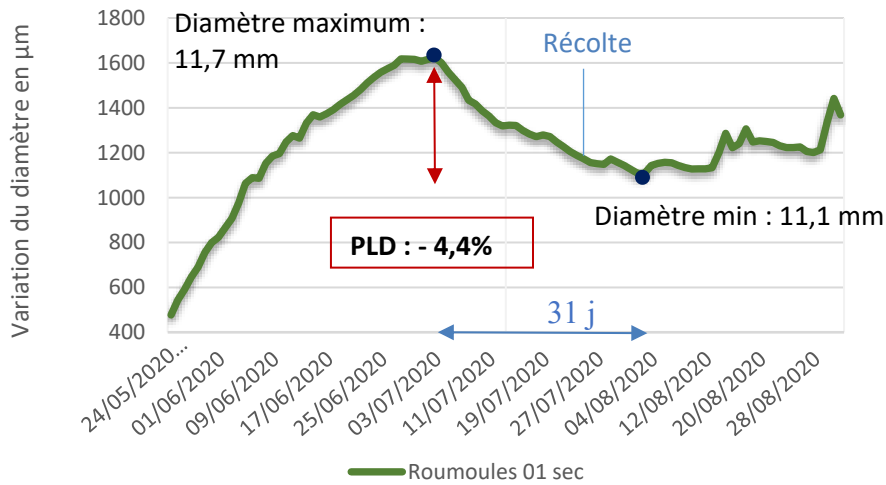
Annexe 24 : Identification des périodes de contraction estivale



Zoom sur la période de contraction estivale en 2020 (A) et en 2021 (B) à Montagnac. Pour les diamètres min et max, le diamètre initial (8 mm) de la branche équipée a été pris en compte et ajouté à la variation estimée par le dendromètre. Une irrigation (30mm) est réalisée les deux années au cours du mois d'août.

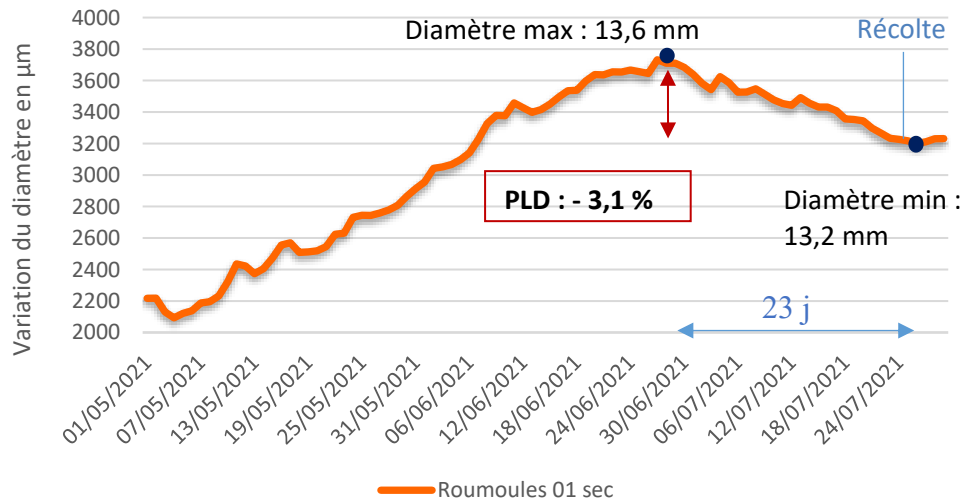
Période de contraction estivale en 2020 à Roumoules

A



Période de contraction estivale en 2021 à Roumoules

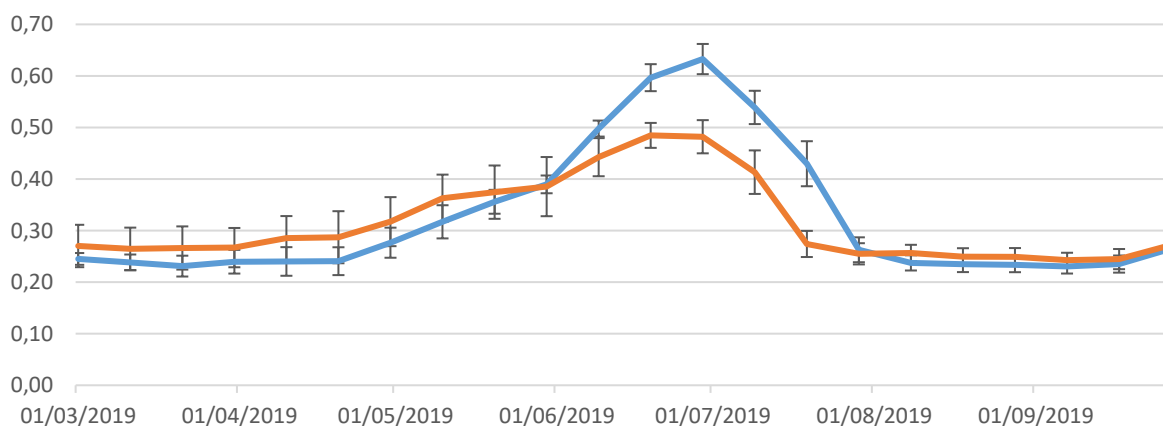
B



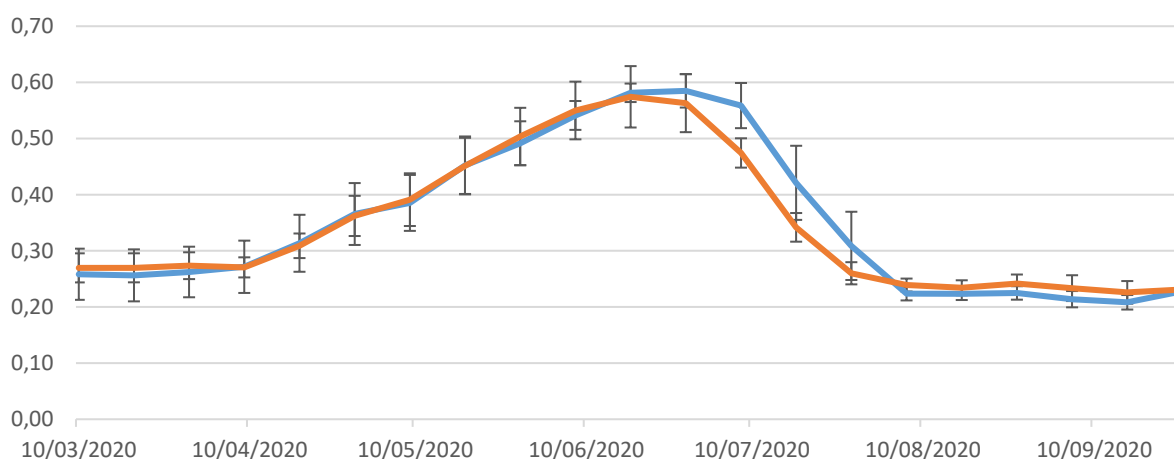
Zoom sur la période de contraction estivale en 2020 (A) et en 2021 (B) à Roumoules. Pour les diamètres min et max, le diamètre initial (10 mm) de la branche équipée a été pris en compte et ajouté à la variation estimée par le dendromètre.

Annexe 25 : Cinétique du NDVI entre parcelles irriguées et en sec

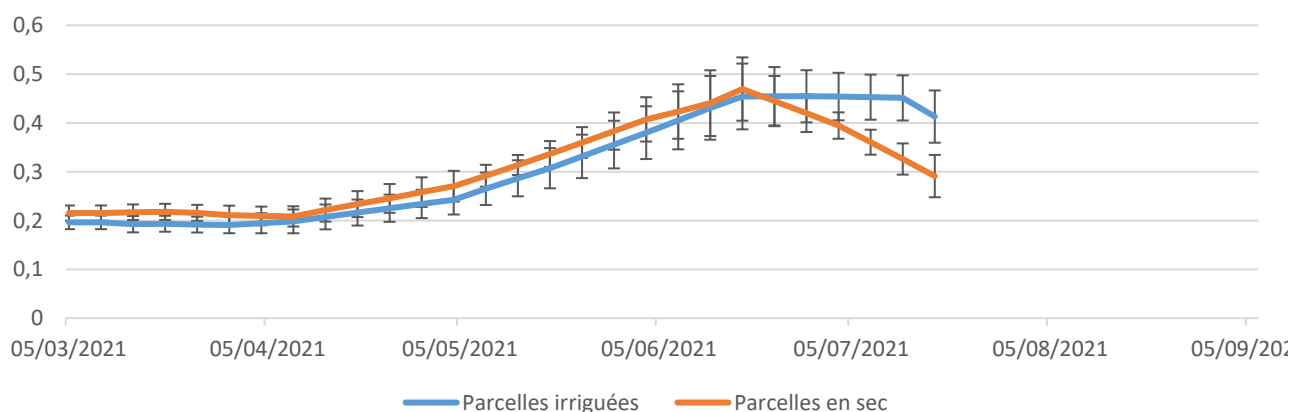
NDVI 2019



NDVI 2020



NDVI 2021

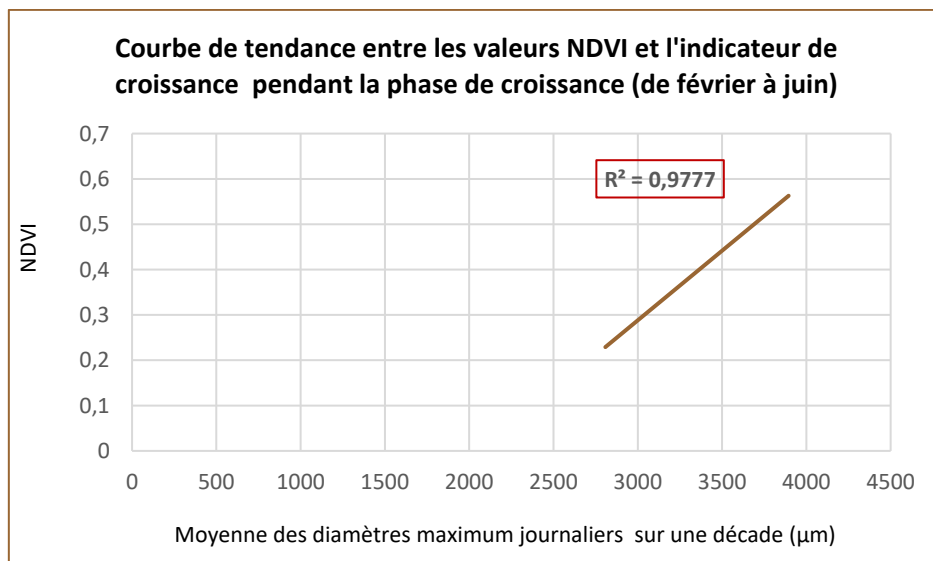
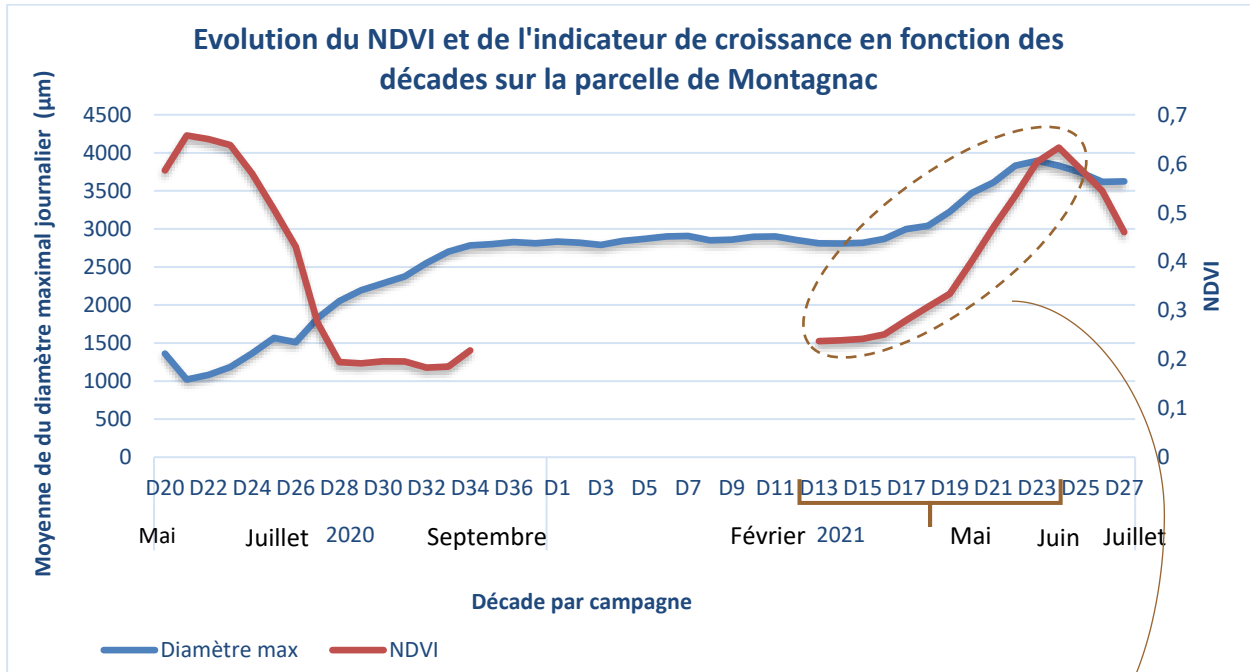


Graphique de la cinétique du NDVI entre parcelles irriguées (en bleu) et en sec (en orange) entre mars et septembre pour les campagnes 2019 et 2020 et jusqu'en juillet pour la campagne 2021.

Annexe 26 : Relation entre le NDVI et la dendrométrie

La parcelle de Montagnac :

La **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** présente les cinétiques du NDVI et de croissance sur la parcelle de Montagnac.



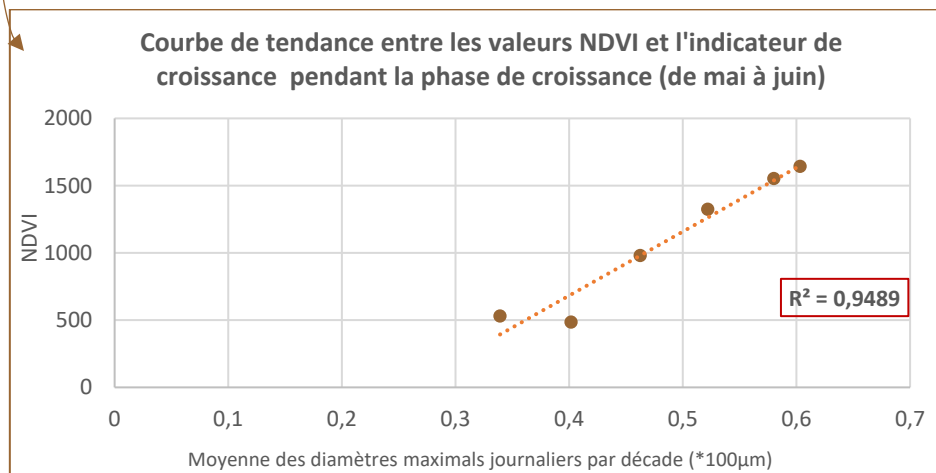
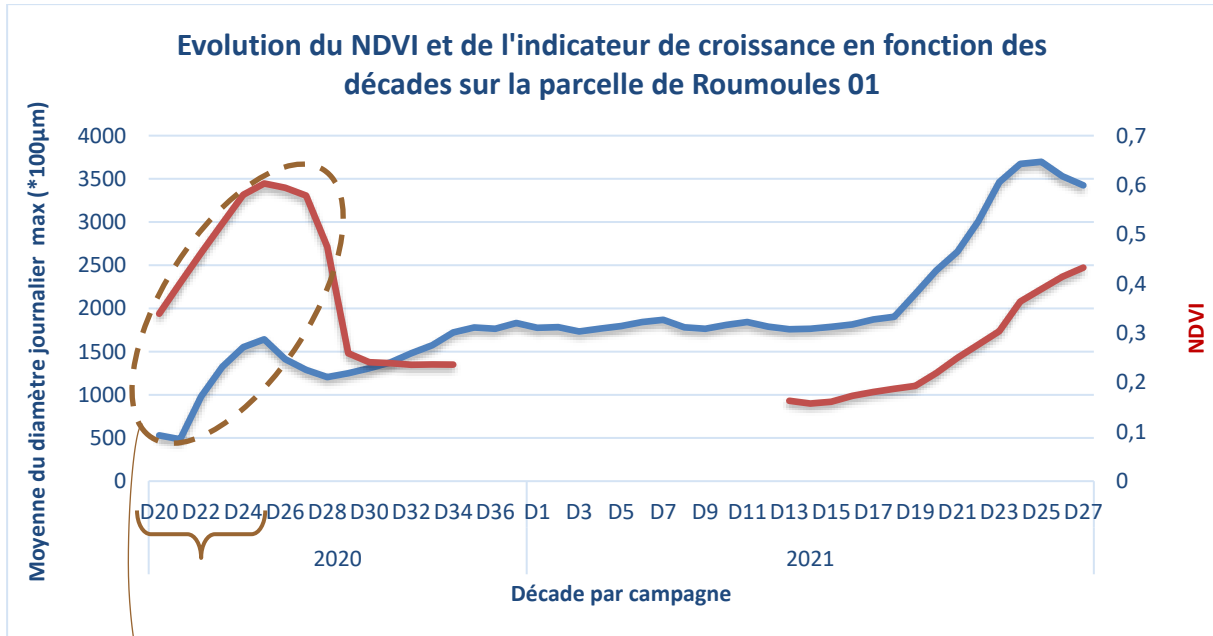
(i) indicateur de croissance (moyenne des diamètres maximum journalier au cours d'une décade) en fonction du NDVI, sur la parcelle de Montagnac en 2020 et 2021.

(ii) Courbe de tendance entre les valeurs de croissance (diamètre maximal) et les données NDVI sur la phase de croissance (D13 à D23).

Les cinétiques sont variables d'une année à l'autre. En 2020, le pic de NDVI arrive bien en avance du pic maximal de croissance journalière : le 19 mai soit pendant la décade 21 contre le 28 juin soit pendant la décade 25.

Cependant, en 2021, les pics se suivent : 8 juin (décade 23) pour la croissance issue des dendromètres, et le 18 juin (décade 24) pour le NDVI. Au cours des phases de croissance (D13 à D23) les valeurs des deux indicateurs sont très corrélées et suivent donc la même cinétique (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**, (ii)).

La parcelle Roumoules 01 :



(i) indicateur de croissance (moyenne des diamètres maximum journalier au cours d'une décade) en fonction du NDVI, sur la parcelle de Roumoules 01 en 2020 et 2021.

(ii) Courbe de tendance entre les valeurs de croissance (diamètre maximal) et les données NDVI sur la phase de croissance (D20 à D25).

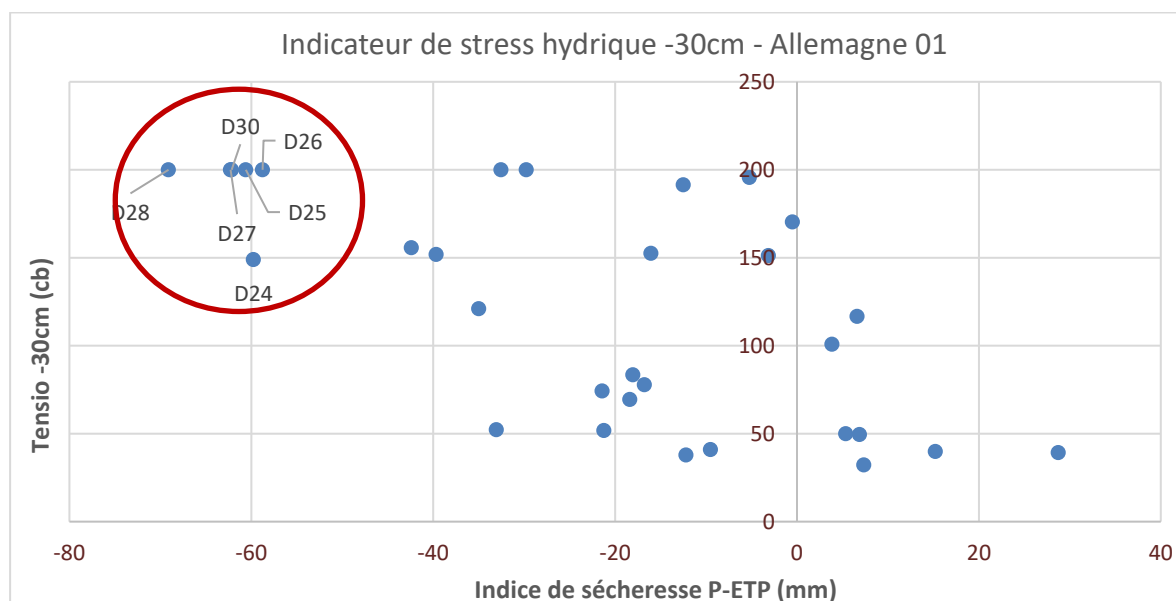
On constate bien sur cette parcelle que les pics de croissance et du NDVI arrivent autour du 28 juin, soit au cours de la même décade 25, période de floraison.

Les données NDVI s'arrêtant au 23 juillet 2021, il est difficile de tirer des conclusions pour la campagne 2021. Néanmoins, le pic de NDVI semble arriver bien plus tard que le pic de croissance, qui arrive de nouveau lors de la décade 25.

Au cours des phases de croissance comme en 2020 (D20 à D25), les cinétiques sont très similaires.

Annexe 27 : Identification des décades de sécheresse

Exemple d'une identification des décades de sécheresse sur une des parcelles du réseau (Allemagne 01) :



Tensiométrie à -30 cm (cb) en fonction de l'indice de sécheresse P-ETP (mm)

Les décades de sécheresse ont été déterminées en prenant les décades situées avec la tensiométrie la plus élevée (>150 cb) et avec l'indice de sécheresse P-ETP le plus important (-60 mm).

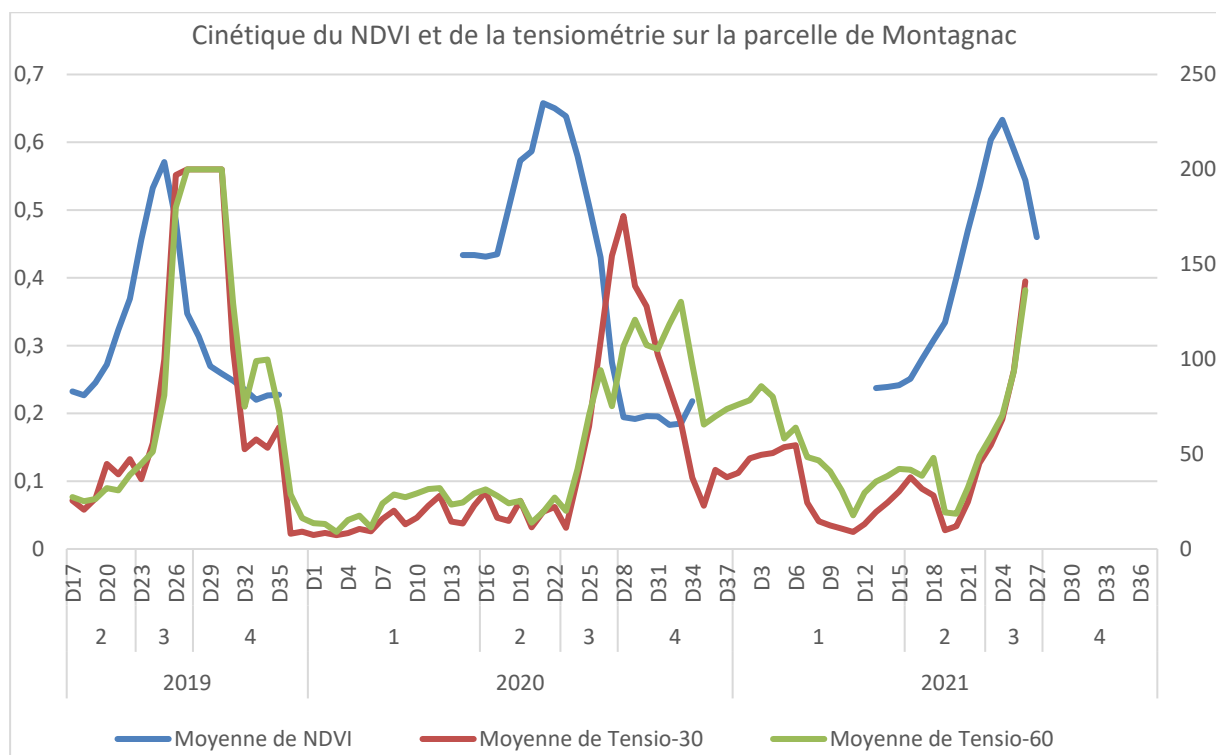
Nombre de décade de sécheresse en 2020 par parcelle :

Parcelle	Nombre de décade de sécheresse	NDVI	Décade du pic maximal de vigueur
Puimoisson01	6	0,7183	D24
Puimoisson 02	4	0,6650	D25
Montagnac	1	0,6577	D21
Sainte-Croix	2	0,6452	D25
Valensole 01	5	0,6366	D25
Roumoules01	4	0,6032	D25
Allemagne 01	5	0,6002	D25
Allemagne 02	5	0,5308	D23
Moustiers	4	0,5279	D25
Roumoules02	4	0,5206	D24
Valensole 02	6	0,4618	D24

Coefficient de corrélation entre nombre de décade et valeur max NDVI = -0.2764

Annexe 28 : Réponse du NDVI à la tensiométrie

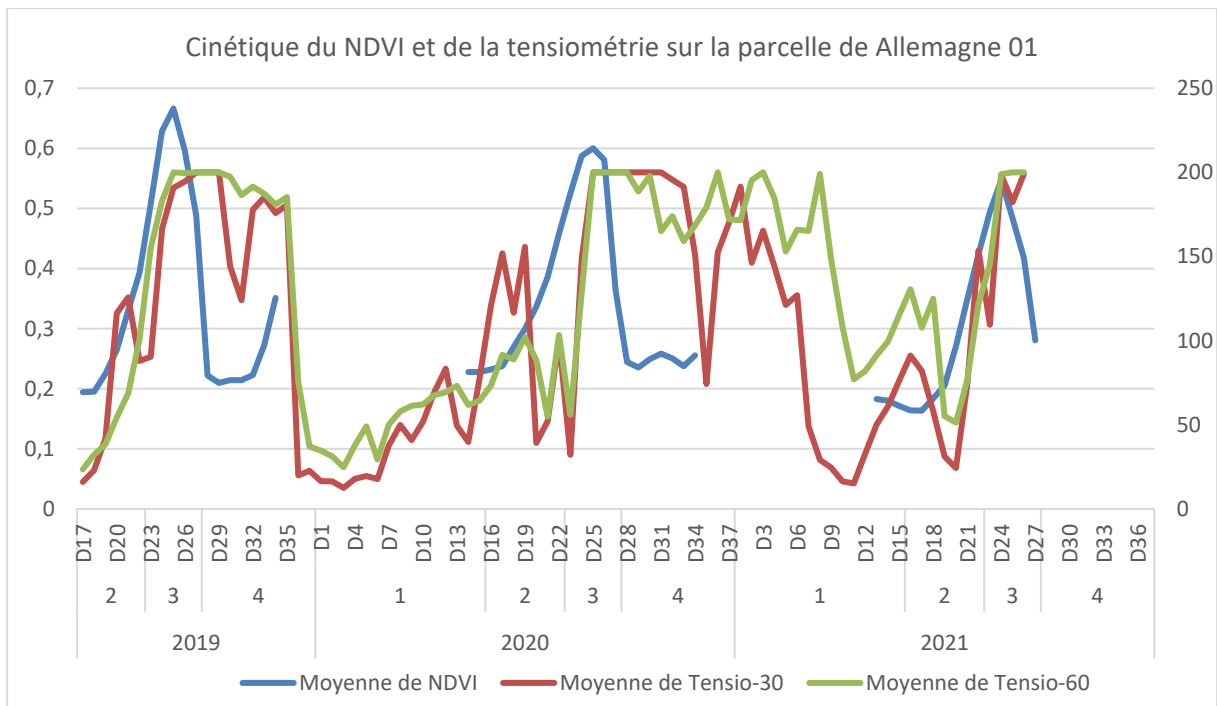
La réponse du NDVI aux variations des tensiomètres a été étudiée et la variabilité des réponses est montrée ci-dessous sur deux parcelles du réseau.



Graphique représentant la cinétique du NDVI et de la tensiométrie sur la parcelle de Montagnac au cours des trois campagnes

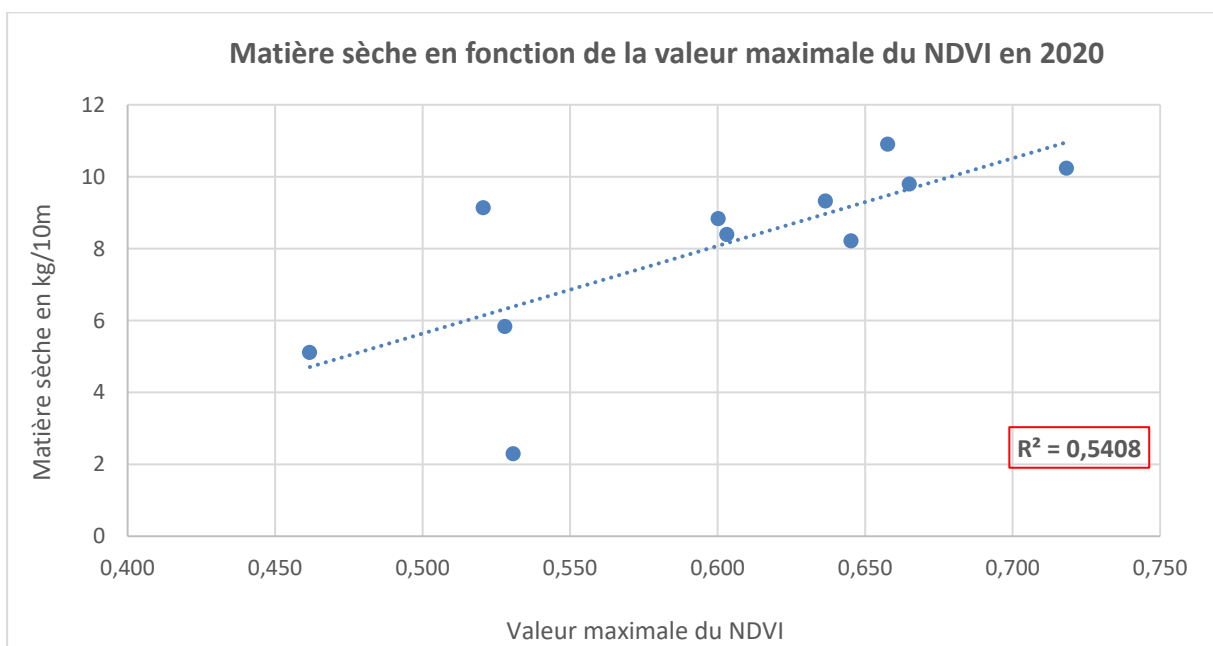
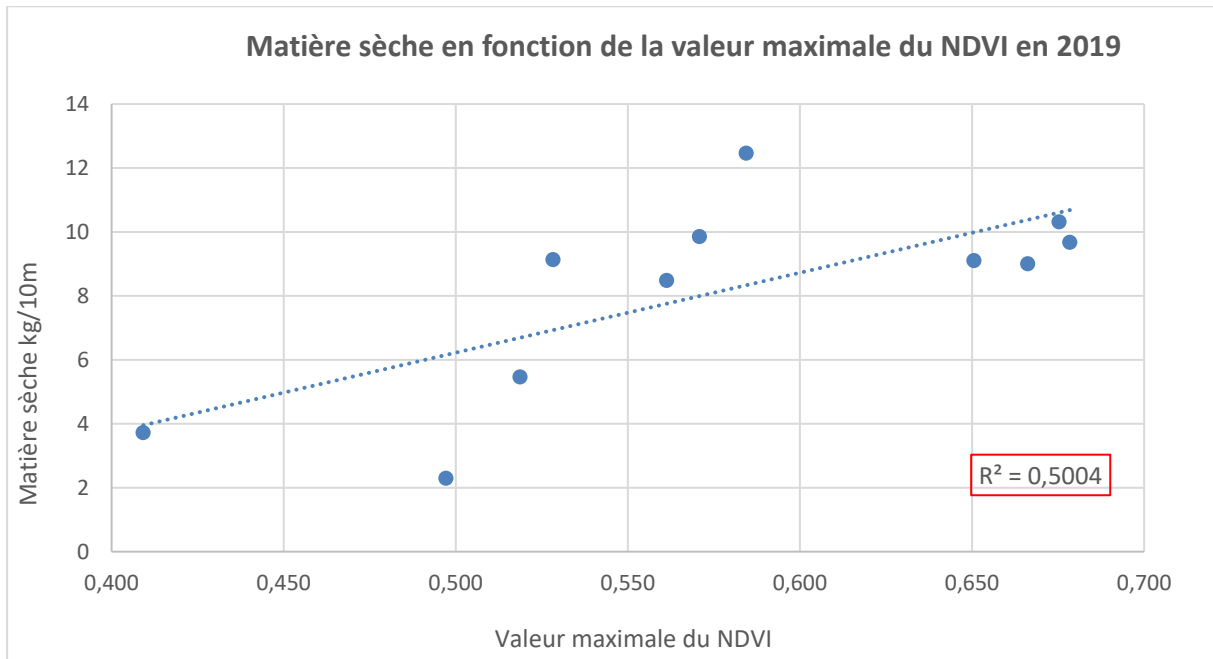
Sur la parcelle de Montagnac, le NDVI semble être influencé par la tensiométrie. En effet, on remarque que lorsque la tensiométrie est plus faible comme en 2020, le pic de NDVI décolle. Il faut tout de même prendre en compte l'effet année qui peut influencer cette valeur.

A contrario, on peut observer des cinétiques différentes sur les autres parcelles. A Allemagne 01, la tensiométrie ne semble pas impacter la valeur maximale du NDVI qui semble décroître au fil des années.



Graphique représentant la cinétique du NDVI et de la tensiométrie sur la parcelle Allemagne 01 au cours des trois campagnes

Annexe 29 : Relation entre la valeur maximale de NDVI et la production de matière sèche



Annexe 30 : Bulletins de conseil pour chaque période du lavandin

BULLETIN LAVANDIN
MAI 2021



nov avril juin août nov

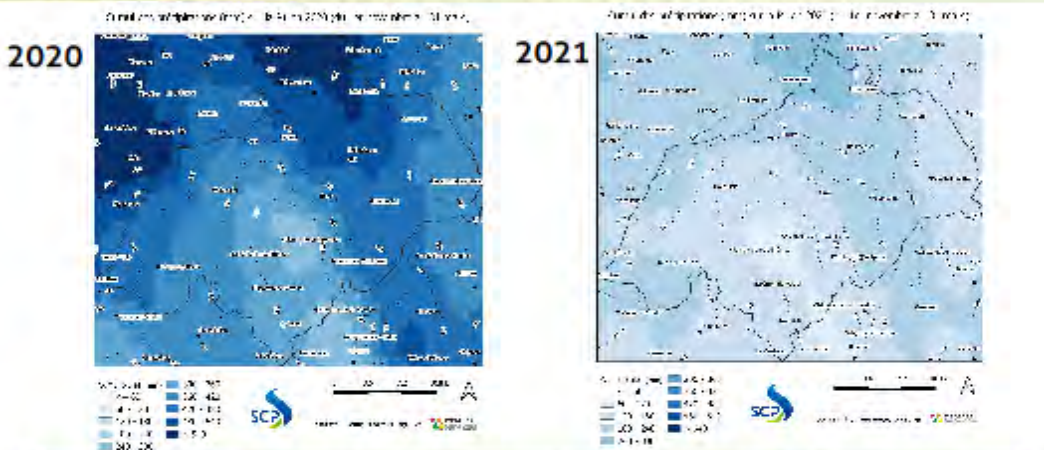


P1 Dormance hivernale
P2 Développement foliaire et des hampes florales
P3 Floraison et contraction estivale
P4 Reprise post-récolte

Ce bulletin vous est proposé par la Société du Canal de Provence, la Chambre d'agriculture des Alpes-de-Haute-Provence, la Chaire AgroSys, et le Parc naturel régional du Verdon dans le cadre du projet REGAIN. L'objectif est de décrire les principaux faits marquants des premiers mois de cette campagne 2021. Il s'appuie sur le réseau de mesures SCP (13 parcelles équipées) et sur l'expertise de ses partenaires.

Nous proposons pour ces bulletins un cadre analytique qui segmente le cycle cultural du lavandin en quatre phases « agro-climatiques ». Cette approche permet de caractériser la campagne en cours par des indicateurs précis et d'éclairer la prise de décision pour les différentes opérations sur les cultures de lavandin (irrigation, fertilisation, récolte...).

BILAN DE LA P1 : UN HIVER MARQUE DE FAIBLES PRECIPITATIONS, BIEN EN DECA DE L'ANNEE DERNIERE



Ces cartes représentent les cumuls de précipitations (hors neige) sur le plateau de Valensole pour la P1 (dormance hivernale) entre le 1er novembre et le 31 mars. Les deux cartes permettent de comparer les cumuls 2020 à ceux de 2021. Les précipitations mesurées sur la station SCP positionnée à Riez présentent des niveaux bien plus faibles de ceux observés en 2020 (180 mm en 2021 contre 450 mm en 2020). Par rapport aux normales de saison, c'est 35% de précipitations de moins qui ont été mesurées (données Agri4Cast 1975-2019).

Ces faibles précipitations en février/mars 2021 n'ont permis qu'une recharge partielle en eau des sols. La teneur en eau est ainsi remontée à 80% en février avant de diminuer à 66% début avril en l'absence de pluie de mi février à fin mars.

Concernant les températures, l'hiver a été plus froid que les années précédentes, même si les températures se sont radoucies autour du 20 mars. Fin mars, le cumul thermique était de 124 °C.J (base 10°C) contre 145 °C.J. en 2020 et 135 °C.J. en 2019.

DEBUT DE LA P2 : QUELS PARAMETRES A SUIVRE ?

Depuis le début du mois d'avril, les plants de lavandin sont rentrés dans la P2, période de redémarrage végétatif avec le développement foliaire puis des hampes florales.

2 paramètres clés à suivre :



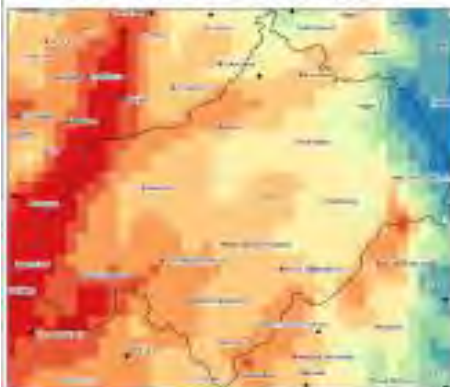
Illustrations Fruition Sciences

L'eau et le cumul des températures sont à suivre de près car ils sont les moteurs de la croissance végétative au cours de cette période 2. Il faut donc éviter, un stress hydrique ou azoté pouvant limiter cette croissance.

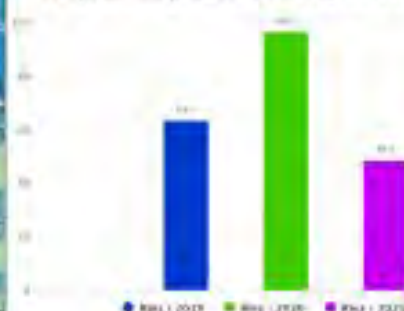
Cela implique qu'en fonction du contexte météorologique, certaines opérations culturales peuvent être déclenchées : irrigations en absence de pluie, gestion des couverts inter-rangs si présents, fertilisation pour accélérer la production de biomasse, binage, gestion des adventices ...

TEMPS THERMIQUE : UN RECHARRAGE TRÈS TARDIF

Cumul thermique (base 5°C) entre le 1^{er} avril et le 3 mai 2021



Temps thermique du 1^{er} avril au 3 mai 2021



Les cumuls thermiques sont très en retrait par rapport à 2020, engendrant un retard dans le développement végétatif des lavandins.

Des hétérogénéités spatiales sont présentes au sein du plateau avec un net gradient nord-est < sud-ouest qui s'explique par les reliefs.

Ce retard végétatif a toutefois permis de limiter les dégâts du gel survenu début avril.

LE RETOUR DES PRÉCIPITATIONS EN AVRIL

Cumul de précipitations (mm) du 1^{er} avril au 3 mai 2021



Cumul des précipitations du 1^{er} avril au 3 mai 2021

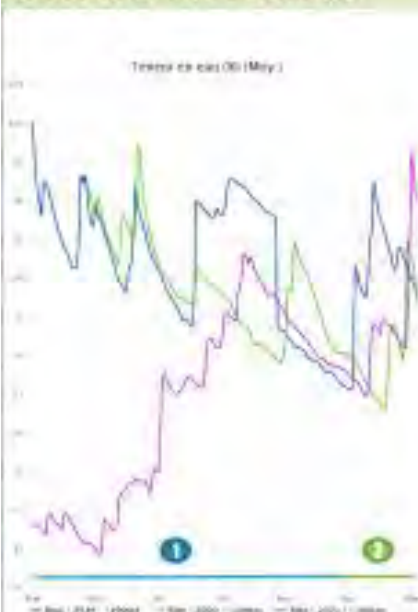


Le mois d'avril a été marqué par plusieurs épisodes de pluie. Cela devrait compenser en partie le déficit en pluviométrie de la P1 et favoriser le développement végétatif en cours.

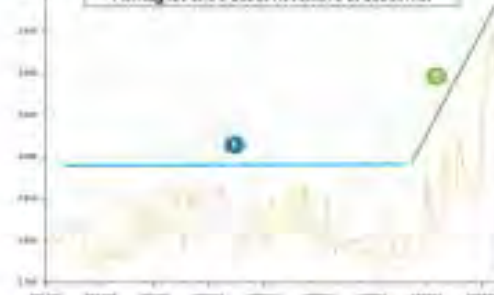
Les précipitations au sein du plateau sont assez inégales, le nord ayant été nettement plus arrosé que le sud-est. Le secteur de Puimoisson a ainsi reçu près de 60 mm de plus que les parcelles autour d'Allemagne-en-Provence.

Grâce à ces pluies, la teneur en eau des sols est remontée début mai à près de 90 % (station Riez).

SUITES DE LA P2 : VIVEMENT LA CHALEUR !



Cinétique de croissance observée sur la parcelle de Montgauc entre début novembre et début mai



La cinétique de croissance est mesurée grâce à un dendromètre installé sur un plant de la parcelle. Depuis le début de la P2, la croissance journalière est repartie et augmente fortement.

Après une période 1 marquée par un déficit en pluviométrie, la période 2 est caractérisée par un retour important des précipitations. Cela va favoriser la croissance végétative des lavandins, au ralenti depuis un mois, avec le retour de la chaleur. Pour favoriser la croissance des hampes florales, les facteurs limitants abiotiques (eau, azote, fer ...) et biotiques (adventices, ravageurs...) sont à suivre de près pour ajuster les opérations culturales.

Pour plus d'informations et découvrir l'ensemble de nos bulletins, consultez notre [Centre de ressources Solutions Agriculture](#)

Retrouvez notre prochain bulletin en juin pour faire le bilan de la P2 et des conditions de la P1



Ce bulletin vous est proposé par la Société du Canal de Provence dans le cadre du projet REGAIN, en partenariat avec le CRIEPPAM. Il s'appuie sur un réseau de 13 parcelles de lavandin sur le plateau de Valensole et sur les données météorologiques de notre partenaire Weather Measures.



Ce bulletin a pour objectif d'appuyer les lavandiculteurs dans leurs décisions de gestion du stress hydrique des lavandins. Pour y répondre, un cadre analytique qui segmente le cycle cultural du lavandin en quatre phases « agro-climatiques » a été réalisé. Il permet de caractériser la campagne en cours par des indicateurs précis et d'éclairer la prise de décision pour les différentes opérations (irrigation, fertilisation, récolte...). Après une période 1 caractérisée par un déficit de précipitations et un retard de croissance (voir bulletin P1), ce bulletin fait le bilan de la période 2 qui se termine actuellement.

P3 : Quels indicateurs à suivre?

A partir d'avril, les lavandins ont effectué le redémarrage végétatif avec le développement foliaire puis des hampe florales. L'eau et le cumul des températures étaient à suivre de près car ils sont les moteurs de la croissance des hampe florales.

En cette fin de P2 et avec l'arrivée des grosses chaleurs, l'indice de sécheresse (ETP-P) est à surveiller de près pour évaluer les déficits de précipitations par rapport à l'évapotranspiration et ainsi anticiper les irrigations.

L'effet four mesuré par le VPD sera également à surveiller pour mesurer les stress climatiques (températures élevées et humidité de l'air faible) qui peuvent perturber la floraison et la production d'huile essentielle.

Indice de sécheresse



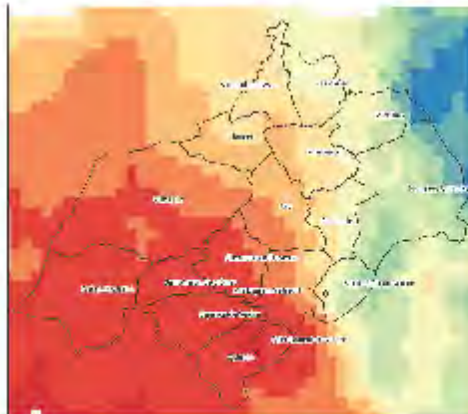
VPD : effet "four"



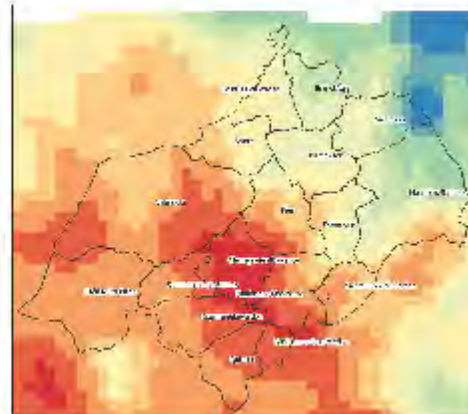
Illustrations : Fruitors Sciences

Bilan fin de la période 2 et démarrage de la période 3

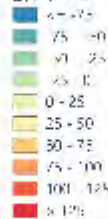
Indice de sécheresse 2020 : 1er avril au 14 juin



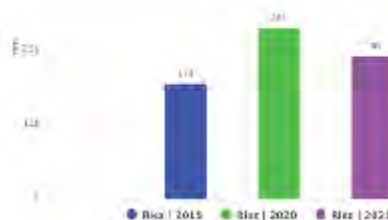
Indice de sécheresse 2021 : 1er avril au 14 juin



ETP-P (mm)



Cumul des précipitations du 1er avril au 14 juin 2021



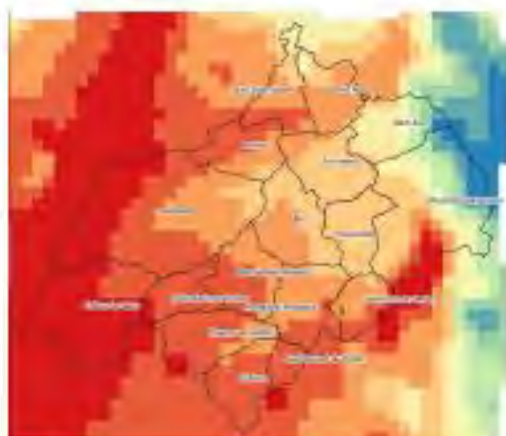
Ces cartes de 2020 et 2021 représentent l'indice de sécheresse sur plateau de Valensole pour la P2 entre le 1er avril et le 14 juin.

Comme en 2020, plusieurs épisodes de pluies entre mi-avril et début juin, ont permis de compenser le déficit hydrique de sortie d'hiver, mais en 2021 ces pluies ont été positionnées plus précocement.

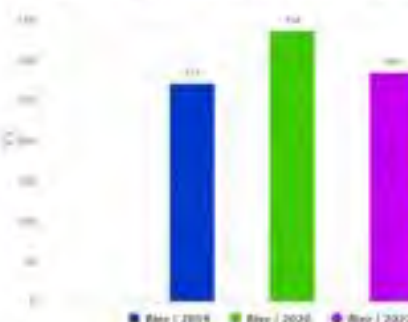
Les cumuls sont très hétérogènes sur le plateau, le nord et l'est ayant été nettement plus arrosés que le sud qui a bénéficié de températures plus élevées.

Une année tardive et proche de 2019 vis-à-vis du cumul thermique

Temps thermique (base 10°C) du 1er avril au 14 juin 2021



Temps thermique (base 10°C) du 1er avril au 14 juin 2021



Les températures **fraîches** de mars et avril ont entraîné un **retard du développement de la végétation** de 5 à 10 jours par rapport à 2020, retardant les processus de minéralisation de l'azote dans le sol.

Même si les chaleurs sont de retour depuis 15 jours, le développement reste **très hétérogène** sur le plateau avec un gradient nord-sud et sud-ouest est, aux différences de températures. Pour les secteurs les plus froids, le manque d'eau dans les sols pour une durabilité préjudiciable pour le rendement final car les tombereaux sont toujours en cours d'élaboration.

Eau dans les sols : une situation très contrastée

Tensionnètrie à 30 et 60 cm de profondeur sur les parcelles de lavandin du réseau REGAIN au 15 juin 2021



Les différents tensionnètres installés dans les parcelles du réseau REGAIN permettent de suivre la disponibilité de l'eau dans le sol à 30 et 60 cm de profondeur.

Des derniers jours, les fortes chaleurs ont entraîné de **fortes demandes climatiques (ETP)** pour les plantes. L'eau dans les sols a donc été fortement mobilisée.

Sur le graphique ci-contre, une forte **hétérogénéité** est observée (visible au sein des parcelles suivies compte tenu des orages localisés qui ont permis, parfois, une bonne recharge en eau des sols, ou des irrigations réalisées par certains producteurs).

Ces situations contrastées (précipitations, cumul thermique, sol) sont à prendre en considération dans la date de déclenchement et l'intensité des irrigations. Pour les secteurs à fort indice de sécheresse et qui ont irrigué, il serait intéressant d'envisager une irrigation dans les 15 prochains jours afin de **recharger la réserve utile du sol** et faire redescendre les tensionnètres en dessous de 50 et à 60 cm de profondeur.

Recommandations agronomiques et gestion de l'eau

Variation du diamètre des branches du 23 mai au 16 juin sur une parcelle du réseau REGAIN



Après une période 1 caractérisée par un déficit pluviométrique par rapport aux normales de saison, la **période 2 a été marquée par la fraîcheur et un retard de végétation** plus ou moins marqué selon les territoires. On estime la floraison à venir avec environ 5 jours de retard par rapport à 2020. Le déficit de pluie a été heureusement compensé par d'importantes précipitations en mai et début juin dans la plupart des secteurs.

En cette fin de période 2, les plants de lavandin ont atteint leur pic de développement journalier. Les chaleurs s'intensifient et la demande climatique augmente rapidement pour les plantes. **L'anachèvement des sols s'accélère**. Pour retarder la combustion résiduelle et favoriser une floraison importante, il est important de **surveiller la disponibilité de l'eau** dans les couches moyennes et superficielles des sols. Un test bêche ou des sondes tensionnétiques peuvent vous y aider.

Pour les secteurs avec un **fort indice de sécheresse**, des irrigations peuvent être envisagées pour assurer la longévité de la floraison. L'enherbement est également à considérer pour limiter la concurrence hydrique. En cas de **vague de chaleur**, une bonne alimentation hydrique du sol peut, en partie, limiter les dégâts sur la floraison.

Contacts :
Nicolas LARLIFY (SCP) - Delphine FRATY (CRSPPAM)

Pour plus d'informations et découvrir l'ensemble de nos bulletins, consultez notre [Centre de ressources Solutions Agriculture](#)

Retrouvez notre prochain bulletin en juillet pour faire le bilan de la situation post-récolte.

Annexe 31 : Lien des bulletins vidéo

Lien bulletins vidéo :

[Mon espace conseils - Société du Canal de Provence](#)

Annexe 32 : Poster restitution matinée technique 2021

L'irrigation du lavandin : de la connaissance des besoins à l'amélioration des performances et des usages de l'eau

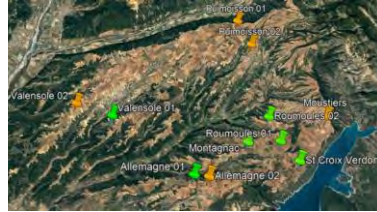


Elise ROUDAUT (Alternante SupAgro Montpellier)
Nicolas URRUTY (nicolas.urruty@canal-de-provence.com)
Alice RACT MADOUX (alice.ract-madoux@canal-de-provence.com)



Contexte : Un réseau de 13 parcelles de lavandin est suivi depuis 2019 par la SCP afin de caractériser les pratiques des irrigants, leurs performances agro-environnementales et les outils pour mieux gérer la contrainte hydrique.

Ce projet s'inscrit dans la démarche REGAIN et vise à améliorer les connaissances et les usages de l'eau d'irrigation en conditions méditerranéennes.



Parcelles irriguées Parcelles en sec

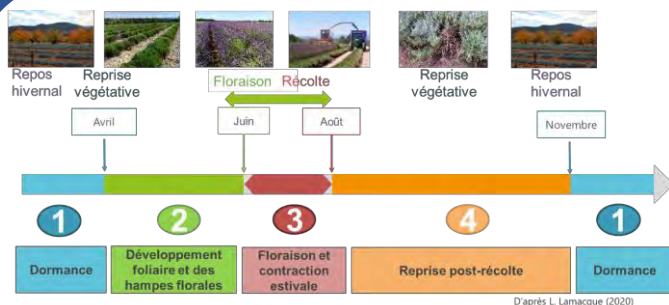
Dispositif expérimental

- 11 stations météo connectées (Temp, Hum, Précip) + prévisions météo 14 j
- 5 dendromètres (mesure de la variation du diamètre des branches)
- 66 tensiomètres (3 x 2 profondeurs x 11 sites) + analyses de sol

Indicateurs suivis (2019-2021)

- Biomasse produite (frais et sec)
- Rendement et qualité de l'HE
- Dépérissement du lavandin
- Contexte météo
- Itinéraires techniques
- Qualité et biodiversité des sols
- Résultats technico-économiques
- Suivi de la croissance (2021)

1 Calendrier phénologique du lavandin : 4 grandes périodes à suivre

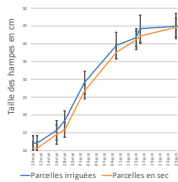


Caractéristiques météorologiques des trois campagnes (précipitations et cumul thermique)

	P1 Dormance hivernale	P2 Développement foliaire et des hampes florales	P3 Floraison et contraction estivale	P4 Reprise post-récolte
2019	140 mm 245 °J 30% irrigation	65 mm 620 °J 100% irrigation	180 mm 820 °J 100% irrigation	
2020	330 mm 120 °J Aucune irrigation	220 mm 340 °J Aucune irrigation	35 mm 520 °J Aucune irrigation	170 mm 780 °J 80% irrigation
2021	200 mm 150 °J Aucune irrigation	200 mm 250 °J Aucune irrigation	25 mm 460 °J 80% irrigation	

2 Impacts de l'irrigation sur le lavandin

Développement des hampes florales en 2021



Les parcelles irriguées ont présenté en 2021 des hampes florales légèrement plus longues et plus fournies en étages de fleurs.

Cela pourrait s'expliquer par le volume des plants qui est plus grand chez les irrigants grâce aux apports d'eau passés (effets pluriannuels)

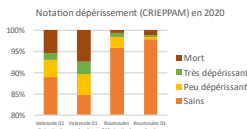
Rendement et qualité de l'huile essentielle

	2019		2020		2021	
	Irrigué	Sec	Irrigué	Sec	Irrigué	Sec
Poids frais (kg) / 10 m	22	14	25	20	17	13
Poids sec (kg) / 10 m	9,5	6,5	8,6	6,8	-	-
Teneur en HE (ml/ kg de matière sèche)	90	89	186	163	-	-
Rendement en HE (ml/10 m)	340	200	453	371	-	-

Les parcelles irriguées ont présenté chaque année des poids frais supérieurs aux parcelles non irriguées. En moyenne, les gains de rendement en HE sont estimés à +41% (2019) et +18% (2020).

Les résultats sur la qualité présentent peu de différences entre les parcelles en sec et en irriguée. Ils sont tous conformes aux normes Afnor.

Dépérissement du lavandin



Pour deux parcelles avec témoin en sec, les symptômes de dépérissement sont proches, voire légèrement inférieurs pour les zones irriguées.

4 Quels outils pour mieux anticiper les irrigations ?

Les tensiomètres

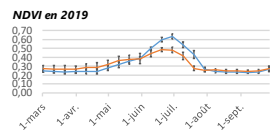
Installés à 30 et 60 cm, les tensiomètres connectés permettent de suivre de manière précise le niveau de recharge ou d'assèchement des sols.

Ils sont donc particulièrement utiles en P2 et P4.

Par contre, ils ne permettent pas de suivre la demande en eau du végétal et sa capacité à puiser l'eau en dessous de 60 cm.

La télédétection

Les images Sentinel 2 ont permis de suivre la vigueur du lavandin au cours du temps avec l'indice NDVI. Les résultats, très hétérogènes entre les parcelles, semblent prometteurs pour mieux anticiper les dates de récolte et les potentiels de rendement.



Les dendromètres

		2020		2021	
		Irrigué	Sec	Irrigué	Sec
P	Taux de croissance	+6%	+10%	+3%	+8%
P	Taux de contraction	-2%	-4%	-4%	-4%
P	Durée de la contraction	10j	31j	34j	30j
P	Taux de croissance	+14%	+6%	-	-

Ils permettent de suivre les comportements du lavandin tout au long de l'année et d'identifier les phases de rentrée en stress.

Les irrigations post-récolte semblent particulièrement utiles pour augmenter les volumes des plants et la production de l'année N+1.

Conclusion et perspectives

Les résultats de ces 3 années de suivi ont permis de mieux connaître les besoins en eau du lavandin au cours des 4 périodes, de quantifier les bénéfices de l'irrigation en matière de production et d'identifier des indicateurs clés à suivre pour mieux anticiper les phases de contrainte hydrique.

Des bulletins collectifs et des tableaux de bord par producteur ont été élaborés sur l'application SCP AgriDATA afin de diffuser ces informations et de suivre les conditions des lavandins en temps réel.

Annexe 33 : Webinaire

Lien webinaire :

[Replay webinaire 11 mai 2021 : Vers une irrigation de résilience du lavandin - YouTube](#)



WEBINAIRE
CE MARDI 11 MAI DE
17H À 18H



VERS UNE IRRIGATION DE RÉILIENCE DU LAVANDIN :

QUELS INDICATEURS ET OUTILS POUR VOUS AIDER DANS L'ANTICIPATION DES OPÉRATIONS CULTURALES ?

Pour nous rejoindre : <https://urlz.fr/fClj>



Nicolas Urruty et Elise Roudaut de la Société du Canal de Provence vous accueilleront pour discuter :

- des paramètres importants à suivre en cette période pour le lavandin
- des tableaux de bord disponibles sur SCP Agridata pour analyser et anticiper vos pratiques culturales.



En partenariat avec :



Résumé

Vers une irrigation de résilience sur le plateau de Valensole : Caractérisation des performances et optimisation des outils de pilotage de l'irrigation sur du lavandin.

Le plateau de Valensole est un territoire dynamique orienté notamment vers la production de plantes à parfum, et plus particulièrement du lavandin (*Lavandula x intermedia*). Ce territoire est confronté depuis quelques années à plusieurs enjeux environnementaux, économiques et climatiques. C'est dans ce contexte que la démarche REGAIN a été initiée en 2014 par quatre partenaires acteurs du territoire, avec pour ambition d'accompagner les agriculteurs du plateau vers la transition agroécologique. Dans le cadre de ce projet, un réseau de suivi de l'irrigation du lavandin composé de 13 parcelles a été mis en place en 2019, avec pour objectif d'accompagner les agriculteurs vers une irrigation de résilience. Bien que le lavandin soit une culture méditerranéenne qui tolère relativement bien la sécheresse estivale, il est de plus en plus impacté par les effets du changement climatique et le dépérissement. En conséquence, le lavandin tend à être de plus en plus irrigué, souvent de manière empirique par les agriculteurs, en fonction du contexte météorologique de la campagne. Aussi ce mémoire a pour objectif de caractériser les grandes périodes phénologiques du lavandin, de mesurer les performances de l'irrigation par rapport à des conditions sèches, et d'identifier des indicateurs clés à suivre pour limiter la contrainte hydrique et ainsi optimiser l'efficacité de l'irrigation. La mise en place d'un calendrier spécifique à la culture, segmenté en quatre périodes agroclimatiques, a permis de faciliter l'interprétation des données récoltées. Le suivi des trois années du réseau a permis de caractériser les stratégies d'irrigation. Les apports sont modérés et se concentrent au cours de la floraison afin de la maintenir et après la récolte pour la bonne reprise végétative du plant. Les impacts de l'irrigation sur les performances agronomiques se montrent plutôt positifs sur le développement du plant et pour la production. Concernant la qualité de l'huile essentielle, elle n'est pas détériorée par l'irrigation. Pour terminer, au regard de la variabilité du taux de dépérissement sur les parcelles, les effets de l'irrigation sont encore à étudier sur le long terme afin de mieux comprendre les impacts sur la pérennité de la culture. La pertinence de trois outils (tensiomètre, dendromètre, télédétection) a été plus spécifiquement étudiée sur leur pertinence à anticiper des périodes de stress hydrique. Des indicateurs clés ont ainsi été déterminés par période. Ils ont été répertoriés sur des tableaux de bord sur l'outil SCP AgriData. Enfin, plusieurs actions de communication et de vulgarisation des résultats ont été menées auprès des producteurs : édition de bulletins périodiques afin de décrire les principaux faits météorologiques marquants et d'appuyer les lavandiculteurs dans leurs décisions de gestion du stress hydrique, organisation d'un webinaire au printemps sur l'usage des tableaux de bord et enfin présentation des résultats lors d'une journée technique en septembre devant les lavandiculteurs du réseau.

Mots clés

Irrigation, Résilience, Lavandin, Sécheresse, Agroécologie, Changement climatique

Pour citer ce document : [Roudaut, Elise, 2021. Vers une irrigation de résilience du lavandin : Quels indicateurs à suivre pour limiter la contrainte hydrique sur le lavandin. Mémoire d'Ingénieur Agronome des systèmes agroalimentaires et agricoles durables au Sud, option ressources, systèmes agricoles et développement, Montpellier SupAgro. 64 p.]

Institut Agro | Montpellier SupAgro, 2 place Pierre Viala, 34060 Montpellier cedex 02.
<https://www.montpellier-supagro.fr/>