

## Mémoire de fin d'études

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

### Impacts agro-environnementaux de l'irrigation des systèmes cultivés sur le plateau de Valensole



par Coralie WELSCH

Année de soutenance : 2017

Organisme d'accueil : Société du Canal de Provence et  
d'aménagement de la région provençale



# Mémoire de fin d'études

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

## Impacts agro-environnementaux de l'irrigation des systèmes cultivés sur le plateau de Valensole



par Coralie WELSCH

Année de soutenance : 2017

Mémoire préparé sous la direction de :  
Jacques WERY

Présenté le : 14/09/2017

devant le jury :

Jacques WERY

Laure HOSSART

Aurélie METAY

Organisme d'accueil : Société du Canal  
de Provence et d'aménagement de la  
région provençale

Maître de stage : Agata SFERRATORE

## RESUME

### **Titre : Impacts agro-environnementaux de l'irrigation des systèmes cultivés sur le plateau de Valensole**

Le plateau de Valensole, avec sa géographie et son histoire particulière, est un territoire aux multiples enjeux. Au cœur du Parc Naturel Régional du Verdon, ce plateau possède notamment une faune et une flore spécifique, dont certaines espèces sont protégées. De plus, la vulnérabilité de ses sols et de ses eaux impose depuis plusieurs années des mesures préventives pour limiter la diffusion des pollutions vers ces compartiments. Territoire agricole reconnu pour sa production de céréales et de plantes à parfum, le plateau de Valensole possède une agriculture qui a connu différentes évolutions par le passé et qui doit aujourd'hui s'adapter au contexte social, économique et environnemental actuel. Un groupe de travail, encadré par plusieurs acteurs du territoire et du monde de la recherche, a notamment été mis en place il y a quelques années pour accompagner les agriculteurs vers une transition agro-écologique : le projet REGAIN. En parallèle de ce contexte, la Société du Canal de Provence, dont le premier réseau d'irrigation dessert le Sud du plateau, a prévu d'étendre son réseau d'irrigation dans la zone Nord, face aux demandes des agriculteurs et des communes de ce territoire. C'est dans ce cadre que l'étude présentée dans ce mémoire a été lancée, afin d'appréhender les différents impacts que l'irrigation d'un territoire peut avoir sur l'agronomie, le fonctionnement du sol et la biodiversité. Pour cela, des enquêtes ont été réalisées chez quinze agriculteurs du plateau. Des synthèses bibliographiques sont également venues compléter les données de cette étude. En terme d'agronomie, l'irrigation s'est avérée être utilisée de différentes façons par les agriculteurs. Elle permet d'une part d'assurer la production de cultures méditerranéennes face au changement climatique, mais elle permet également une diversification des assolements. Selon les cultures de diversification choisies, les pressions polluantes en azote et en produits phytosanitaires sont soit augmentées, soit diminuées. L'irrigation s'est aussi révélée être particulièrement importante pour le maintien des systèmes d'élevage ovin. Pour le sol, l'irrigation peut avoir des impacts à la fois positifs ou négatifs en termes de fonctionnement des cycles des éléments : la composition des systèmes de culture, la fréquence des irrigations et les quantités d'eau apportées par irrigation sont des facteurs qui influent directement sur les processus de fonctionnement du sol. Enfin, en termes de biodiversité, l'étude a montré que l'Outarde canepetière, oiseau steppique protégé, était sensible à l'irrigation et l'intensification des pratiques agricoles. Il est alors important que l'irrigation soit pilotée de manière raisonnable et qu'elle encourage des pratiques agricoles durables et favorables à la protection de cet oiseau. Enfin, l'étude a montré que l'arrivée de l'irrigation sur les exploitations agricoles pouvait être un levier pour favoriser des techniques et des pratiques agricoles plus durables, comme la mise en place de couverts d'intercultures, l'implantation de haies, la pratique du semis-direct. Ces différentes pratiques agricoles peuvent alors augmenter la biodiversité à l'échelle de la parcelle, de l'exploitation et même du territoire (mosaïques de cultures). L'irrigation, selon son pilotage, peut donc être un levier important pour augmenter la résilience des systèmes de culture et rendre l'agriculture plus agro-écologique et durable. D'autres études à son sujet seront indispensables à l'avenir pour mieux définir son rôle.

### **Mots clés**

Irrigation, REGAIN, Plateau de Valensole, Agroécologie, Sol, Biodiversité, Agrosystèmes, Elevage, Systèmes de culture, Outarde canepetière, Durabilité

---

## ABSTRACT

### **Title: Agro-environmental impacts of irrigation on cultivated crop systems of the Valensole plateau**

The Valensole plateau, with its geography and its history, is a territory with multiple stakes. Located in the Regional Natural Park of Verdon, this plateau has a specific fauna and flora, some of which are protected. In addition, the vulnerability of its soils and waters has required since several years preventive measures, in order to limit the spread of pollution towards these compartments. The agriculture of Valensole plateau, a territory renowned for its production of cereals and perfume plants, has undergone various evolutions in the past and has now to adapt to the current social, economic and environmental context. A working group, led by several territorial stakeholders and researchers, was set up few years ago to support farmers in a transition into agro-ecological farming: the REGAIN project. In parallel to this context, the Société du Canal de Provence company, whose first irrigation network serves the South of the plateau, has planned to extend its irrigation network northbound, in order to satisfy the demand of farmers and municipalities of this territory. The aim of the present study is to understand the different impacts that irrigation can have on agronomy, soil functioning and biodiversity. For this purpose, surveys were carried out among fifteen farmers. A bibliographical survey helped to complete the data collected during this study. In terms of agronomy, irrigation has proven to be used in different ways by farmers. On the one hand, it enables the Mediterranean crops production to cope with climate change, but on the other hand, it also allows diversification of crop rotation. Depending on what type of diversifying crop is chosen, the polluting pressures in terms of nitrogen and pesticides are either increased or decreased. Surveys have also revealed that irrigation is particularly important for maintaining sheep farming systems. For the soil, irrigation can have both positive and/or negative impacts on biogeochemical cycles: the composition of cropping systems, the frequency of irrigation and the quantities of water supplied by irrigation are factors that directly influence the soil's functioning processes. Finally, in terms of biodiversity, the study showed that the little bustard, a protected steppe bird, was sensitive to irrigation and intensification of agricultural practices. Thus, it is important to manage irrigation sustainably to encourage sustainable agricultural practices, in order to pursue the protection of this bird. Finally, the study revealed that the arrival of irrigation could be a lever to promote more sustainable practices, such as establishment of cropland cover crops, hedges, and direct seeding. These different agricultural practices can then increase biodiversity at the plot, farm and even territorial level (plant mosaics). Irrigation, according to its management, can therefore be an important lever to increase the resilience of cropping systems and make agriculture more agro-ecological and sustainable. Further studies on this subject will therefore be needed in the future to better define the role of irrigation in this context.

### **Key words**

Irrigation, REGAIN, Valensole plateau, Agro-ecology, Soil, Biodiversity, Agrosystems, Farming, Crop systems, Little bustard, Sustainability

---

## REMERCIEMENTS

Je tiens en premier lieu à remercier Agata Sferratore, ma maitre de stage, expert milieux aquatiques à la Société du Canal de Provence (SCP), pour m'avoir accueillie et accompagnée tout au long de ce stage. Sa grande gentillesse et ses nombreux conseils ont été très précieux pour moi durant ces six mois. Je remercie également Eugénie Blanc-Coutagne, collègue d'Agata, qui a su m'apporter son expertise en agronomie. Elle m'a également soutenue et conseillée pour l'analyse des résultats, la rédaction du mémoire et pour mieux comprendre le contexte de la zone d'étude.

Mes plus grands remerciements vont également à Jacques Wery, mon tuteur pédagogique, enseignant-chercheur à Montpellier Supagro, pour son encadrement, sa disponibilité et tous ses précieux conseils, tant dans la démarche du stage que dans la rédaction finale du mémoire.

Merci également à Julien Lecollinet, Jean-Claude Lacassin, François Prévost et Julien Sol, de la Société du Canal de Provence, pour leur confiance, leur soutien et leur expertise tout au long du stage. Ils ont grandement participé au bon déroulement de cette étude et m'ont chaleureusement accueillie. Merci aussi à Céline Le Floch et Christelle Gries Gosalbes pour la formation Qgis et les conseils qu'elles m'ont donnés.

Mes remerciements vont ensuite à tous les agriculteurs et éleveurs du plateau de Valensole que j'ai pu rencontrer. Leur accueil, leur disponibilité, ainsi que la sincérité de tous leurs témoignages ont tout simplement rendu cette étude possible, tout en apportant de précieuses informations de contexte. Je tiens à remercier particulièrement Denis Vernet, ingénieur agronome et futur agriculteur du plateau, pour ses explications et pour la transmission de ses photographies aériennes par drone, qui m'ont permis d'illustrer ce mémoire. Je remercie également chaleureusement Camille Garbet et François Atger pour m'avoir accueillie et hébergée sur le plateau de Valensole pour le bon déroulement des enquêtes auprès des agriculteurs.

Pour sa gentillesse, son expertise et son dynamisme, je souhaite également dire merci à Perrine Puyberthier, du Parc Naturel Régional du Verdon, qui m'a également aidée durant ce stage, grâce notamment à la transmission de données sur les Outardes canepetières. De même, un grand merci à Nora Dermech de la Chambre d'Agriculture des Alpes de Hautes Provence, pour sa gentillesse et ses conseils concernant l'étude réalisée durant ce stage. Merci également à Eric Chaisse et à toute l'équipe du CRIEPPAM en général pour les informations qu'ils m'ont transmises concernant le lavandin et les taux d'exportations d'azote.

Je remercie également toute l'équipe de l'IMBE d'Avignon et Cécile Serbouce (stagiaire à l'IMBE) pour leur dynamisme, leur générosité et le travail qu'ils ont accompli sur la biodiversité des sols sur parcelles de lavandin. Leur étude a pu agrémenter les informations sur la biodiversité dans ce mémoire.

Pour leurs précieux conseils et le partage d'informations, je souhaite aussi remercier plusieurs étudiants : Steve Aubry, pour sa gentillesse et son travail sur le lavandin, qui a été utilisé pendant mon stage ; Victor Galland (stagiaire au CRIEPPAM) et Maxime Chignier-Riboulon (stagiaire au PNRV), pour la coordination et le partage d'informations pour les enquêtes terrain ; Antoine Buteau (étudiant agronome en spécialisation élevage) pour les données qu'il m'a transmises sur les élevages ovins. Un grand merci également à mes compagnons de stage à la SCP, Karine Battisti, Paul Zunino, Alexandre Da Costa, Pauline Trouiller, Amina Khalfaoui, et Audrey Combe pour leurs sympathies et les conseils que nous avons pu échanger tout au long de ces six mois

Merci enfin à toutes les personnes qui m'ont aidée pour cette étude et l'élaboration de ce mémoire.

---

## TABLE DES MATIERES

<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>1</b>
<b><i>I. Chapitre 1 – Contexte de l'étude et problématique .....</i></b>	<b><i>2</i></b>
<b>I.1 Contexte territorial et environnemental de la zone d'étude .....</b>	<b>2</b>
<b>I.2 Historique agricole du plateau de Valensole .....</b>	<b>3</b>
<b>I.3 Les enjeux actuels du plateau et le projet REGAIN.....</b>	<b>4</b>
<b>I.4 Le réseau d'irrigation de la SCP sur le plateau .....</b>	<b>4</b>
I.4.1 Le premier réseau d'irrigation .....	4
I.4.2 La future extension du réseau d'irrigation.....	5
<b>I.5 Problématique de l'étude et principales missions.....</b>	<b>5</b>
<b><i>II. Chapitre 2 - Axe Agronomie.....</i></b>	<b><i>6</i></b>
<b>II.1 Problématique et méthodologie spécifique de l'Axe Agronomie.....</b>	<b>6</b>
II.1.1 Des enquêtes pour comprendre la place de l'irrigation dans les exploitations.....	6
II.1.2 Diversité des systèmes de culture enquêtés avec la typologie choisie.....	6
II.1.3 Méthodologies relatives à chaque question et présentation des résultats.....	7
<b>II.2 Quels sont les différents usages de l'irrigation aujourd'hui sur les exploitations du plateau de Valensole ? .....</b>	<b>8</b>
II.2.1 Impacts de l'irrigation sur les assolements des exploitations .....	8
II.2.2 Provenance de l'eau, Matériel d'irrigation et utilisation de l'équipement .....	12
II.2.3 Outils d'aide au pilotage de l'irrigation.....	12
<b>II.3 Quelles différences de structures et de fonctionnement des agrosystèmes existe-il entre systèmes au sec et systèmes irrigués ?.....</b>	<b>13</b>
II.3.1 Résultats et discussion à l'échelle de la parcelle .....	13
II.3.2 Résultats et discussion à l'échelle du système de culture.....	18
<b>II.4 Quels sont les impacts de l'irrigation sur l'organisation du travail ?.....</b>	<b>19</b>
II.4.1 Gestion de la charge de travail.....	19
II.4.2 Différences de structure des exploitations (type Lavandin-Céréales) .....	20
II.4.3 Fonctionnement des exploitations d'élevage.....	21
<b>II.5 Comment l'arrivée de l'irrigation pourrait faire changer les pratiques ?.....</b>	<b>22</b>
II.5.1 Diversification des cultures .....	22
II.5.2 Infrastructures agro-environnementales, Intercultures et Semis-direct .....	23
II.5.3 Evolution de la charge de travail et de la main d'œuvre .....	24
<b>II.6 Rapport d'étonnement suite aux enquêtes terrain .....</b>	<b>24</b>

---

<b>III. Chapitre 3 - Axe Sol.....</b>	<b>25</b>
<b>III.1 Problématique, méthodologie et prise en compte du projet COMETE .....</b>	<b>25</b>
III.1.1 Méthodologie générale : le sol, compartiment complexe mais fondamental.....	25
III.1.2 La vulnérabilité des sols du plateau face au transfert de polluants.....	25
<b>III.2 Impacts de l'eau sur les processus de fonctionnement du sol .....</b>	<b>26</b>
<b>III.3 Estimation des bilans apparents d'azote et d'eau.....</b>	<b>27</b>
III.3.1 Méthode des bilans apparents d'azote et d'eau .....	27
III.3.2 Résultats et discussions pour les bilans apparents.....	28
<b>IV. Chapitre 4 - Axe Biodiversité .....</b>	<b>32</b>
<b>IV.1 Rappel des enjeux et Méthodologie de l'Axe Biodiversité .....</b>	<b>32</b>
IV.1.1 Liens entre les pratiques agricoles et la biodiversité .....	32
IV.1.2 La biodiversité, thématique au cœur du plateau de Valensole.....	32
IV.1.3 Méthodologie de l'axe Biodiversité.....	33
<b>IV.2 Résultats - Impacts de l'irrigation sur l'Outarde canepetière.....</b>	<b>34</b>
IV.2.1 Présentation de l'Outarde canepetière (Tetrax tetrax) .....	34
IV.2.2 Impacts probables de l'irrigation sur l'Outarde canepetière.....	35
<b>IV.3 Résultats - Impacts de l'irrigation sur la faune du sol .....</b>	<b>37</b>
IV.3.1 Impacts probables sur la macrofaune du sol.....	37
IV.3.2 Impacts sur les bactéries et les champignons du sol.....	37
<b>V. Chapitre 5 : Synthèse des résultats des 3 axes de l'étude .....</b>	<b>39</b>
<b>V.1 Synthèse des résultats sous forme d'une matrice SWOT.....</b>	<b>39</b>
V.1.1 Les Forces représentées par l'irrigation.....	39
V.1.2 Les Faiblesses représentées par l'irrigation.....	40
V.1.3 Les Menaces représentées par l'irrigation .....	40
V.1.4 Les Opportunités représentées par l'irrigation.....	41
<b>V.2 Les limites de l'étude .....</b>	<b>42</b>
V.2.1 Le plan d'échantillonnage.....	42
V.2.2 Les données .....	42
<b>V.3 Perspectives pour approfondir l'étude .....</b>	<b>43</b>
V.3.1 Recommandations pour de futures études sur les sols.....	43
V.3.2 Recommandations pour de futures études sur la biodiversité.....	44
V.3.3 Proposition d'analyse par scénarii pour poursuivre l'étude.....	45
<b>CONCLUSION.....</b>	<b>46</b>
<b>Bibliographie.....</b>	<b>47</b>
<b>ANNEXES.....</b>	<b>53</b>

---

## **AVANT-PROPOS**

Ce mémoire a été réalisé dans le cadre du stage de fin d'étude de la formation Production Végétale Durable du cursus ingénieur agronome de Montpellier Supagro. Il a été réalisé à la Société du Canal de Provence, dont le siège se situe à Aix-en-Provence- le Tholonet. Ce stage est issu d'un partenariat entre la Société du Canal de Provence et la Chaire AgroSYS de Montpellier Supagro. Il a duré six mois, de mars 2017 à septembre 2017.

---

## GLOSSAIRE

**Agroécologie** : ensemble de méthodes et de pratiques socle d'une révision des liens entre agriculture et écosystèmes dont le but est de garantir la préservation des ressources naturelles (Altieri, 1989)

**Agrosystème** : écosystème des parcelles cultivées

**Ammonitrate** : engrais chimique, contenant exclusivement de l'azote sous forme de nitrate d'ammonium, à hauteur de 33,5%. [Source : <http://www.engrais-ammonitrate.com/>]

**Assolements productifs** : assolements d'une exploitation, sans tenir compte des jachères et des surfaces d'intérêt écologiques

**Bilans apparents** : Bilans simplifiés prenant en compte les entrées et les sorties principales d'un système

**Capacité au champ** : quantité d'eau maximale que peut contenir le sol par ses micro-porosités

**Dépérissement** : maladie qui touche le lavandin, due au phytoplasme de Stolbur, transmis à la plante par la cicadelle *Hyalesthes obsoletus*

**Engrais complet** : engrais contenant à la fois de l'azote, du phosphore et du potassium, sous les formes respectives N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et K<sub>2</sub>O.

**Équitabilité** : Régularité de distribution des individus au sein des différentes espèces considérées

**Indice de Shannon** : indice de biodiversité qui donne la priorité aux espèces rares

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

**Plantier de lavandin** : Plants de lavandin de un an, non productifs encore

**Richesse spécifique** : le nombre d'espèces présentes dans une communauté

**Rotation-cadre** : rotation culturale qui implique la culture principale d'une exploitation agricole

**Services écosystémiques** : bénéfiques que les êtres humains tirent des écosystèmes (Millenium Ecosystem Assessment, 2005)

**Système de culture** : Ensemble des modalités techniques mises en œuvre sur des parcelles cultivées de manière identique. Un système de culture se définit alors par la nature des cultures et leurs ordres de successions, ainsi que par les itinéraires techniques appliqués à ces cultures (Sebillotte, 1990a).

**Trame verte et bleue** : réseau de continuités terrestres et aquatiques, qui permettent la préservations d'habitats naturels pour la faune et la flore

---

## SIGLES ET ACRONYMES

**AB** : Agriculture Biologique

**CA04** : Chambre d'agriculture des Alpes-de-Haute-Provence

**CIPAN** : Culture intermédiaire piège à nitrate

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

**CUMA** : Coopératives d'utilisation de matériel agricole

**ETP** : Evapotranspiration potentielle

**HE** : Huile essentielle

**IAE** : Infrastructure agro-environnementale

**IEP** : tarif à effacement de pointe. Tarif préférentiel proposé par la SCP pour limiter le pic de consommation d'eau en période estival

**IFT** : Indice de Fréquence de Traitement. 1 IFT représente un traitement phytosanitaire à la dose homologuée sur 100% de la surface de la culture considérée.

**IMBE** : Institut Méditerranéen de Biodiversité et d'Ecologie marine et continentale

**INRA** : Institut National de Recherches Agronomiques

**ITEIPMAI** : Institut technique des plantes médicinales et aromatiques

**Kc** : coefficient cultural

**Keq** : coefficient d'équivalence en engrais chimique

**Kg N/ha** : kilogramme d'azote par hectare

**MAEC** : Mesure agro-environnementale et climatique

**PAC** : Politique agricole commune

**PNRV** : Parc Naturel Régional du Verdon

**PPAM** : Plantes à Parfum, Aromatiques et Médicinales

**SAU** : Surface agricole utile

**SCA3P** : Société Coopérative Agricole des Plantes à Parfum de Provence

**SCP** : Société du Canal de Provence et d'aménagement de la région provençale

**SdC** : Système de culture

**SIE** : Surface d'intérêt écologique

**SWOT** : Matrice des Forces, Faiblesses, Menaces et Opportunités d'une entité

**UTA** : équivalent temps plein : indique la charge de travail généré par une activité

**UTH** : équivalent travailleur humain : indique la création d'emplois générés par une activité

**ZNIEFF** : Zones Naturelles d'Intérêt Ecologique Faunistique et Floristique

---

---

# INTRODUCTION

L'eau est un bien précieux, qu'il est important de préserver à l'échelle mondiale comme à l'échelle locale. Le plateau de Valensole, territoire situé dans le Parc Naturel Régional du Verdon (PNRV) et aux enjeux agricoles et environnementaux importants, connaît depuis plusieurs décennies des préoccupations autour de la gestion de sa ressource en eau, pour pallier aux aléas du climat. La composition particulière des sols du plateau donne naissance à plusieurs nappes alluviales de faible profondeur où l'eau est accessible par des forages notamment. De plus, des cours d'eau et de retenues d'eau ont permis l'irrigation de certaines zones du plateau à différentes périodes de l'histoire pour le développement de l'agriculture. Dans les années 1980-1990, face à une demande accrue des agriculteurs pour un accès à une eau issue d'une ressource stable dans le temps, la Société du Canal de Provence (SCP) a réalisé l'aménagement d'un réseau dans le secteur Sud du plateau de Valensole, à partir d'une pompe dans le lac de Sainte-Croix. Ces différentes ressources sont donc pour beaucoup d'aspects des atouts pour la région agricole du plateau de Valensole. Cependant, si d'une part le développement économique et l'intensification agricole du territoire ont conduit à des bénéfices sociétaux, d'un autre côté, des conséquences néfastes sur l'environnement sont apparues, pour des raisons à la fois politiques, économiques, sociales et technologiques, en liaison avec les particularités des sols et les pratiques agricoles du plateau. La qualité de l'eau des nappes et des sols a notamment été détériorée de manière importante pendant plusieurs décennies. Dans ce contexte, les acteurs principaux du territoire (la SCP, le PNRV et la Chambre d'agriculture 04), appuyés par la Chaire AgroSYS de Montpellier Supagro, ont constitué un groupe de travail en 2014 dans le cadre du projet REGAIN. Le but est de poser ensemble les problèmes de manière systémique en répondant aux enjeux agronomiques et environnementaux, afin d'accompagner les agriculteurs du plateau vers des pratiques agricoles plus durables. Ce projet se construit avec de nombreux acteurs du territoire et a pour objectif de restaurer petit à petit la qualité de l'eau, des sols et de l'environnement du plateau de Valensole.

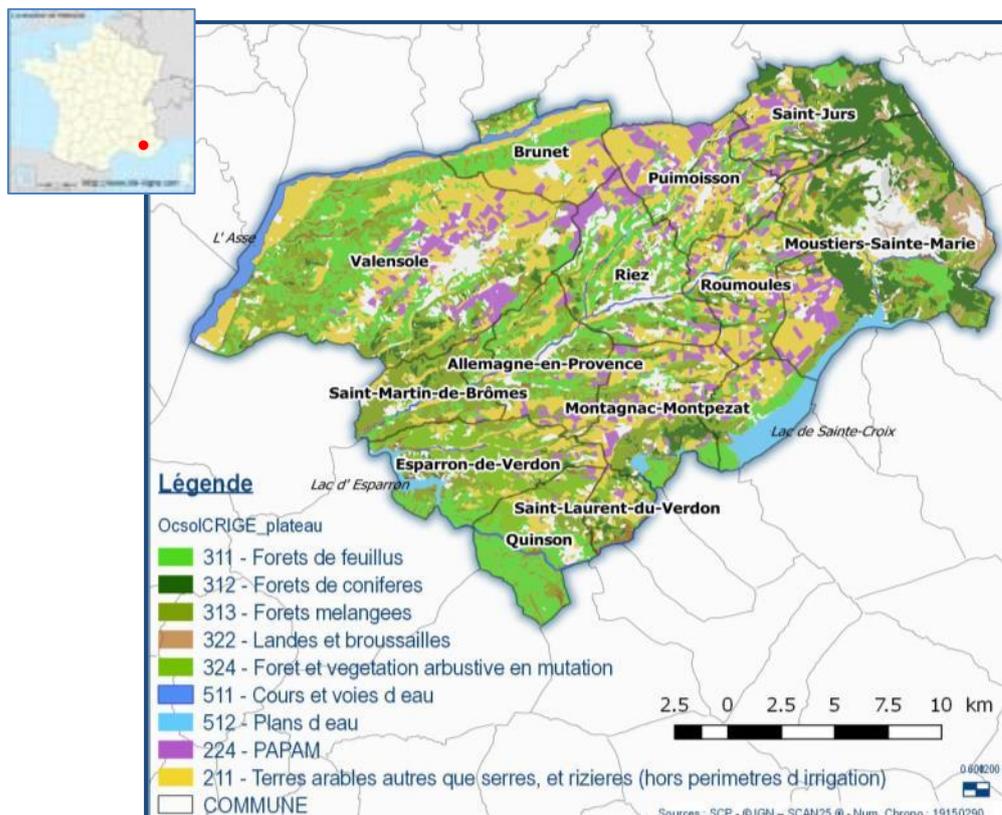
En parallèle, face à l'intensification des périodes de sécheresse et à la fermeture de certaines zones de captages locales pour cause de contamination par les nitrates et/ou les pesticides, l'idée d'une extension du réseau d'irrigation de la SCP au Nord du plateau de Valensole a vu le jour, pour desservir agriculteurs et communes. La mise en place de ce réseau pourrait représenter de nombreuses opportunités, mais son impact sur les agro-éco-systèmes et l'environnement doit être évalué avec soin, à court, moyen et long terme. Aussi, de la même manière que se pose la question des impacts d'aménagements paysagers sur l'environnement, il n'est aujourd'hui pas envisageable d'imaginer la mise en place d'un nouveau réseau d'irrigation sans étudier l'ensemble des impacts sur l'agriculture et l'environnement du plateau de Valensole. Se pose alors la question : **L'irrigation peut-elle permettre une agriculture plus durable et écologique et dans quelle(s) mesure(s) ? Au contraire, l'irrigation représente-elle un risque majeur pour la durabilité environnementale du plateau de Valensole ?**

Pour répondre à ces questions, le présent mémoire se déclinera en trois grands axes : un axe Agronomie, un axe Sol et un axe Biodiversité. Le premier axe tentera de répondre aux questions suivantes : Quels sont les usages de l'irrigation aujourd'hui sur le plateau de Valensole ? Quelles différences de structures et de fonctionnement des systèmes de culture peut-on voir entre des systèmes irrigués et des systèmes au sec ? Quel est l'impact de l'irrigation sur l'organisation du travail ? Comment l'arrivée de l'irrigation pourrait changer les pratiques agricoles des exploitants ? L'axe Sol se concentrera sur l'impact que peut avoir l'irrigation sur le fonctionnement du sol et des bilans apparents en eau et en azote des différents systèmes agricoles étudiés seront réalisés. L'axe Biodiversité consistera ensuite majoritairement en une étude bibliographique pour approcher les impacts de l'irrigation sur une espèce à enjeu, l'Outarde canepetière, ainsi que sur la biologie du sol. Enfin, ce mémoire terminera sur une synthèse des différents axes et sur des recommandations et des pistes de réflexions pour poursuivre cette étude dans les années à venir.

# I. Chapitre 1 – Contexte de l'étude et problématique

## I.1 Contexte territorial et environnemental de la zone d'étude

Paysage emblématique des Alpes-de-Haute-Provence avec ses palettes de couleurs allant de l'ocre des cultures de blé au bleu-violet des lavandins, le plateau de Valensole se situe sur un territoire aux multiples spécificités. Au cœur du Parc Naturel Régional du Verdon (PNRV), ce territoire d'une superficie de 45 000 ha environ est composé de 14 communes et est bordé dans le Sud-Est par le lac de Sainte Croix (Figure 1). Son altitude augmente du Sud-Ouest au Nord-Est, passant de 350 m à 850 m d'altitude. Son climat de type méditerranéen est plutôt sec, avec une moyenne de 700 mm de pluie à l'année, caractérisés par deux pics de précipitations, à l'automne et au printemps (Lang A. *et al.*, 2011). Le plateau de Valensole est également souvent sujet au mistral, vent froid et sec venant du Nord et participant à l'assèchement des terres. En terme géologique, le plateau est formé de conglomérats de Valensole, structure particulière constituée d'une alternance d'argiles, de marnes, de grès ou encore de sables, qui a donné naissance à différentes nappes alluviales de faible profondeur, qui constituent des ressources en eau pour différents acteurs du territoire (Annexe 1) (Lang A. *et al.*, 2011).



**Figure 1: Communes, assolements et principaux plans et cours d'eau du plateau de Valensole**  
(Source : carte réalisée avec le logiciel Qgis ® et les données du CRIGE 2014)

Les reliefs du plateau peuvent être différenciés en trois catégories : le plateau avec des paysages ouverts et de nombreuses parcelles agricoles, les fonds de vallée avec des paysages plus étroits, des zones de déprises agricoles et de nombreuses ripisylves et enfin les versants, souvent boisés et où certains troupeaux d'élevage ovins peuvent être rencontrés (Lang A. *et al.*, 2011) (Annexe 2). De plus, ce territoire du PNRV est marqué par un fort enjeu en termes de biodiversité. Ainsi, il détient deux classements en zone Natura 2000 (un au titre de la directive Habitat et un autre au titre de la directive Oiseaux) et il fait l'objet d'une zone d'inventaire ZNIEFF (DREAL, 2017). De nombreuses actions ont donc été mises en place en vue de protéger les zones fréquentées par les espèces concernées. Parmi les espèces emblématiques et protégées du plateau de Valensole, l'Outarde canepetière, oiseau originaire des milieux steppiques et en régression au niveau européen, fait l'objet d'attentions particulières pour veiller à sa sauvegarde (PNRV, 2008). Enfin, avec près de 20 000 ha de Surface agricole utile (SAU), l'agriculture est profondément implantée sur le plateau de Valensole depuis de nombreuses années.

## 1.2 Historique agricole du plateau de Valensole

**Avant les années 1950**, l'agriculture du plateau était majoritairement représentée par des cultures de céréales et de fourrages (sainfoin, ers), cultivées sous des amandiers. Ces productions étaient complétées par l'activité d'élevage de brebis pour la production d'agneaux sur les exploitations. Les agriculteurs possédaient aussi des prairies naturelles, des bois de chêne et parfois des truffières. Ces systèmes diversifiés existaient à la fois dans des petites exploitations familiales comme dans des exploitations patronales un peu plus grandes. Certaines exploitations capitalistes cultivaient également de la lavande fine, pour fournir les parfumeurs de la ville de Grasse (Lang A. *et al.*, 2011).

**A partir des années 1960**, la moto-mécanisation du travail agricole a pour conséquence l'arrachage de nombreux amandiers du plateau, pour faciliter le passage des engins dans les parcelles, faisant disparaître les systèmes agro-forestiers qui existaient jusqu'alors. De plus, le développement des intrants de synthèse et des lessives au parfum de lavande pour les machines à laver vont pousser les agriculteurs du plateau à changer leurs assolements et à diminuer l'activité d'élevage : la culture de lavandin, plus économique que la lavande fine, devient petit à petit une des cultures majoritaires du plateau (Annexe 3). En outre, l'introduction des primes à la production du blé dur vers 1967, pour pallier au déficit de production européen, fait augmenter progressivement les surfaces de blé dur sur le plateau. **Dans les années 1980**, le remembrement provoque la disparition des plus petits exploitants et l'augmentation des SAU par exploitation. C'est à ce moment que la SCP commence l'aménagement de son premier réseau d'irrigation au Sud du plateau de Valensole, mis en eau en 1990, induisant l'introduction de quelques cultures irriguées (maïs, pommiers ou cultures de semences sous contrat (betterave, tournesol, maïs)). L'intérêt pour le lavandin et le blé dur diminue alors, mais pour une courte durée. En effet, la réforme de la PAC de 1992 (avec la chute de rentabilité du maïs), mais aussi l'innovation technique de récolte du lavandin en vert broyé (années 2000) relance la rentabilité de ces cultures et la productivité des exploitations (Figure 2) (Annexe 4). Le lavandin et le blé dur voient alors à nouveau leurs surfaces augmenter, et les cultures irriguées de diversification diminuent en parallèle pour rester marginales. (Lang A. *et al.*, 2011).



**Figure 2: Récolte du lavandin en vert broyé et récolte mécanisée du blé dur**  
(Crédit photo: Denis Vernet)

**Depuis**, les cultures de lavandin et de blé dur sont restées majoritaires, avec environ 8300 ha de blé dur et plus de 5000 ha de lavandin sur le plateau en 2010 pour une SAU totale de 20 000 ha. On retrouve également 3500 ha de surfaces en herbe, 1400 ha d'oléoprotéagineux et 630 ha d'arboriculture (SCP, 2016). Quelques agriculteurs ont commencé à allonger et diversifier leurs rotations culturales vers 2010, jusqu'alors composées majoritairement de lavandin et de blé dur, avec l'introduction de cultures de pois, de colza ou encore de tournesol. L'irrigation était encore peu utilisée en 2011, avec au total 150 à 450 ha de surfaces irriguées chaque année avec le réseau SCP. Celle-ci sert alors surtout d'assurance sécheresse, notamment pour assurer un rendement convenable en cas d'année sèche pour le blé dur et certaines parcelles de lavandin. Cependant, face aux modifications de la PAC de 2015 et à l'augmentation des effets du réchauffement climatique ressentis sur le plateau, les pratiques semblent être vouées à changer pour mieux s'adapter à ces nouveaux contextes. Cette étude est l'occasion de voir si l'agriculture du plateau de Valensole a subi des changements récents pour s'adapter aux différents changements de contexte et aux différentes problématiques rencontrées.

## 1.3 Les enjeux actuels du plateau et le projet REGAIN

L'intensification de l'agriculture n'a pas été sans conséquences sur les agro-écosystèmes, notamment du point de vue de **la qualité de l'eau et des sols**. L'utilisation jusqu'en 2003 d'un herbicide sur le lavandin, le dichlobénil, a notamment provoqué une accumulation d'un de ses métabolites dans les sols : le 2,6-dichlorobenzamide (BAM). Cette molécule est remobilisée chaque année lors de la recharge en eau des nappes, provoquant une pollution importante des eaux souterraines. Cette contamination s'ajoute à celle provoquée par d'autres résidus de produits phytosanitaires. En outre, la fertilisation des cultures a conduit, suite à la lixiviation de l'azote, à une forte teneur en nitrate dans les eaux (Bailly-Compte *et al.*, 2016). En 2007, 10 captages d'eau potables sur 30 ont dû fermer suite à des contaminations trop importantes en produits phytosanitaires ou en nitrate et 6 autres sont aujourd'hui considérés comme captages prioritaires (SDAGE 2016-2021). Le plateau est passé suite à cela en Zone Vulnérable Nitrate (de 2012 à aujourd'hui) pour tenter de limiter la pollution des eaux en azote (DDT 04, 2016).

L'augmentation des surfaces en lavandin provoque également des **problèmes de dépérissement** sur cette culture, dus à un parasite, le phytoplasme de Stolbur, transmis par la cicadelle *Hyalesthes obsoletus*. Il provoque chaque année la perte de nombreux plants par modification du flux de sève, assèchement puis mort de ces derniers. Ce phénomène a tendance à croître lorsque les surfaces en lavandin augmentent, car le cycle de l'insecte vecteur n'est alors pas interrompu. La diversification des cultures intra ou inter-parcellaire est une des pistes évoquées pour faire face à ce problème. Enfin, l'augmentation de certaines surfaces agricoles depuis plusieurs décennies représente un risque pour la **préservation de la faune avicole** (dont l'Outarde canepetière). Pour préserver la faune locale du plateau dans son ensemble, le maintien des zones boisées et la réhabilitation de trames vertes et bleues sont des actions que le PNRV cherche à développer, avec entre autre des programmes d'implantations de haies depuis l'année dernière.

Pour intégrer ces différents enjeux et proposer des solutions durables aux agriculteurs, **le projet REGAIN** a été créé en 2014 avec le PNRV, la CA04, la SCP et la chaire d'entreprise AgroSYS de Montpellier Supagro. Il est animé par deux structures (PNRV et CA04) et s'articule autour des thématiques suivantes: l'amélioration de la qualité des sols, le développement d'infra-structures agro-écologiques (IAE), la gestion durable de la fertilisation, le pilotage de l'irrigation et l'augmentation de la biodiversité culturelle (couverts d'inter-rang, rotations longues, etc...) (Partenaires REGAIN, 2015). L'objet de ce programme est de proposer un lieu d'échange, de réflexion globale et d'actions collectives autour des pratiques agricoles du plateau. Outre différentes actions de formation et de diagnostic sur les exploitations, plusieurs études ont déjà eu lieu au sein de ces différentes thématiques. Cette année, le PNRV encadre d'ailleurs un stage qui initie un projet de trois ans visant à étudier le lien entre les pratiques culturelles sur le lavandin, l'état sanitaire de la culture et la qualité du sol, sur un réseau d'une quarantaine de parcelles du plateau. L'étude présentée dans ce mémoire s'intègre également dans le cadre du projet REGAIN, puisque l'irrigation fait partie des thèmes du projet.

## 1.4 Le réseau d'irrigation de la SCP sur le plateau

### 1.4.1 Le premier réseau d'irrigation

En 1981, la SCP lance une première étude pour estimer la demande en eau issue d'une ressource stable, afin de préparer l'aménagement de son premier réseau d'irrigation sur le plateau. Des enquêtes d'agriculteurs sont réalisées et l'équivalent de 4100 ha sont identifiés à l'époque comme des surfaces suscitant une demande d'équipement (pour une estimation de 2000 ha réellement irrigués par an) (SCP, 1981). La demande provient également de communes du plateau de Valensole, intéressées par le réseau. L'aménagement du réseau (nommé réseau du Chaudon) est alors effectué entre les années 1988 et les années 2000 avec 2400 ha équipés dans le Sud du plateau, grâce à l'eau du Verdon, directement pompée depuis le lac de Sainte-Croix. Au départ, des exploitations agricoles investissent dans du matériel comme des enrouleurs ou des pivots, afin de produire des cultures de diversification irriguées, telles que le maïs, les cultures de semences sous contrat, des vergers ou encore des légumes de plein champs. Ces cultures permettent certes une diversification, mais elles nécessitent souvent de grandes quantités d'eau et d'intrants, ce qui représente alors un risque de pollution pour la qualité de l'eau et des sols (SCP, 2016). Cependant dans les années 1995-2000, la nouvelle attractivité du blé dur et du lavandin fait à nouveau

basculer les assolements agricoles et provoque alors la réduction de certaines cultures irriguées. Alors que le taux d'utilisation des équipements est de 35% juste après l'installation du réseau, celui-ci tombe à 15% en 2011 (Lang A. *et al.*, 2011). L'irrigation est à ce moment-là surtout utilisée comme une assurance, pour sauver les rendements du blé dur et ponctuellement du lavandin les années sèches, ou encore pour l'irrigation des truffières. Le matériel investi à l'époque pour l'irrigation du maïs étant toujours disponible, cela offre la possibilité aux agriculteurs concernés d'irriguer ou non selon les années. Depuis 2007, la SCP propose un tarif préférentiel pour inciter les agriculteurs à irriguer plutôt au printemps, en dehors de la période de pointe de consommation en eau des communes et des touristes l'été: le tarif à effacement de pointe (IEP). Pour bénéficier de ce tarif avantageux, aucun prélèvement ne doit être fait à la borne entre le 15 juin et le 15 septembre. Suite à cela, de nouvelles souscriptions ont eu lieu. L'irrigation du blé dur a de nouveau été intéressante économiquement pour les irrigants et la consommation en eau s'est alors répartie en deux périodes de pointe : une au printemps et une en été (SCP, 2016).

### *1.4.2 La future extension du réseau d'irrigation*

Actuellement, suite à la contamination de plusieurs captages d'eau souterraine (limitant les prélèvements en eau potable) et au réchauffement climatique, la SCP envisage l'extension de son réseau dans le secteur Nord du plateau (cartes en Annexe 5). Nombres d'agriculteurs et de maires sollicitent régulièrement la SCP pour exprimer leurs besoins en eau dans cette zone. Plusieurs scénarios d'aménagement sont envisagés, augmentant la surface irrigable du plateau de 2200 ha à plus de 3700 ha selon l'option choisie (SCP, 2016). Outre les contraintes techniques que cela suppose en termes hydraulique, l'extension du réseau suscite aussi quelques craintes de la part de différents acteurs du territoire concernant l'impact agro-environnemental que pourrait avoir ce réseau via le développement de l'irrigation au Nord. Plusieurs études devront être menées à plus ou moins long terme pour identifier les menaces et les opportunités de cette extension.

## *1.5 Problématique de l'étude et principales missions*

Face à ces enjeux agronomiques, environnementaux, sociaux et à nombreux questionnements, la SCP et la Chaire AgroSYS ont financé une étude sur les impacts de l'irrigation sur le plateau, basée en grande partie sur la collaboration avec des agriculteurs. La question de fond peut être résumée ainsi : ***L'irrigation peut-elle rendre l'agriculture du plateau de Valensole plus écologique et durable, ou bien représente-t-elle un risque majeur du point de vue agro-environnemental ?***

Afin d'avoir une première idée des modifications induites sur l'agriculture et l'environnement par l'irrigation, il a été convenu de distinguer trois axes d'analyses différents, mais interconnectés, pour cette première étude à vocation exploratoire. Comme souligné plus haut dans l'historique agricole du plateau, l'irrigation a apporté de nombreuses modifications à l'échelle de l'exploitation, du système de culture et de la parcelle.

- ✓ Le premier axe d'analyse est donc un ***Axe Agronomie***, qui tentera de répondre aux questions suivantes : *Quels sont les usages de l'irrigation aujourd'hui sur le plateau de Valensole ? Quelles différences de structures et de fonctionnement des systèmes de culture peut-on voir entre des systèmes irrigués et des systèmes au sec ? Quel est l'impact de l'irrigation sur l'organisation du travail ? Comment l'arrivée de l'irrigation pourrait changer les pratiques agricoles des exploitants ?*
- ✓ En outre, le fonctionnement d'un sol peut voir nombreux de ses processus modifiés lorsque ce dernier se trouve irrigué, notamment en ce qui concerne les cycles hydriques et azotés. C'est pourquoi le deuxième axe d'analyse est l'***Axe Sol***, qui consistera en un résumé des connaissances actuelles sur les paramètres du fonctionnement du sol modifiés par l'eau et en des bilans apparents d'azote et d'eau.
- ✓ Enfin, la question de l'impact de l'irrigation sur l'Outarde canepetière et sur la biologie des sols du plateau de Valensole a été posée. Le dernier axe d'étude est donc l'***Axe Biodiversité***, qui consistera en une synthèse bibliographique des différentes études menées sur ces thématiques.

Ce mémoire se termine par une synthèse des principaux résultats de ce travail, ainsi que par des propositions et recommandations pour d'éventuelles suites à cette étude.

## II. Chapitre 2 - Axe Agronomie

### II.1 Problématique et méthodologie spécifique de l'Axe Agronomie

Afin de faire un premier état des lieux de l'utilisation de l'irrigation et de ses conséquences sur le plateau de Valensole, des enquêtes ont été menées auprès d'agriculteurs locaux, à la fois dans la zone irriguée et dans la zone au sec actuellement mais potentiellement irrigable. Le but de cet axe d'analyse, à vocation exploratoire, est de répondre aux quatre questions suivantes : *Quels sont les usages de l'irrigation aujourd'hui sur le plateau de Valensole ? Quelles différences de structures et de fonctionnement des systèmes de culture peut-on voir entre des systèmes irrigués et des systèmes au sec ? Quel est l'impact de l'irrigation sur l'organisation du travail ? Comment l'arrivée de l'irrigation pourrait changer les pratiques agricoles des exploitants ?*

#### II.1.1 Des enquêtes pour comprendre la place de l'irrigation dans les exploitations

Pour répondre à ces questions, le choix a été fait de se baser sur des enquêtes auprès d'agriculteurs. Dans le but d'approcher les effets directs et indirects de l'irrigation, les questions posées lors des enquêtes ont balayé les différentes échelles d'analyse (du plus fin au plus général). Du fait des contraintes en temps (durée du stage) et de la disponibilité des agriculteurs, le nombre d'enquêtes a été limité à 15 (Annexe 6). Plusieurs réunions de cadrage ont été réalisées en amont pour discuter de la méthodologie à employer pour cette étude. En effet, ces enquêtes n'avaient pas pour but d'analyser l'ensemble des exploitations du plateau, ou d'être statistiquement représentatives, mais elles se sont focalisées sur des exploitations « types », illustratives de l'agriculture du plateau de Valensole et de ses liens avec l'irrigation. Le choix des systèmes de culture enquêtés a été élaboré grâce à des études précédentes (Lang A. *et al.*, 2011) (Etudiants PVD, 2013), mais également à dire d'experts (Annexe 7). L'intégralité de la zone d'étude faisant partie d'une même unité agro-économique, l'étude des modifications induites par l'irrigation au Sud du plateau permet d'avoir une idée de celles pouvant être induites au Nord avec l'extension du réseau.

#### II.1.2 Diversité des systèmes de culture enquêtés avec la typologie choisie

Le but de ces enquêtes était principalement d'étudier des systèmes de culture (et en particulier des rotations de culture) au sec ou irrigués (2 systèmes de culture, « sec » et « irrigué », pouvant coexister au sein d'une même exploitation). Les systèmes retenus et leurs abréviations sont décrits dans l'Annexe 8 :

- Les **cultures de lavandin et de blé dur** étant les cultures les plus représentées sur le territoire, il a été choisi d'enquêter en majorité des systèmes contenant au moins ces deux cultures dans les rotations : les systèmes de type Lavandin-Céréales (*LC*). Ainsi, cinq systèmes de culture au sec (*LCs*) et cinq systèmes de culture irrigués (*LCi*) ont été étudiés dans cette catégorie.
- D'autres types d'agriculture sur ce territoire peuvent aussi utiliser l'irrigation. Ainsi, quelques systèmes d'**élevage** (*E*) (deux exploitations irriguées (*Ei*) et une exploitation au sec (*Es*)), d'**arboriculture** (*A*) (une exploitation au sec et une autre comportant deux systèmes distincts: un au sec (*As*) et l'autre irrigué (*Ai*)) et de **maraichage** (*M*) (une exploitation de maraichage irrigué) ont également été enquêtés pour compléter cette étude. L'hypothèse a été faite que les exploitations maraichères ont forcément besoin de et accès à l'eau pour leurs productions.

Le nombre d'agriculteurs irriguant sur le plateau étant assez restreint, certains types de systèmes ne comportent qu'un seul représentant (*ex* : type Maraichage). Ces enquêtes ont été réalisées lors d'entretiens semi-directifs avec les agriculteurs (Annexe 9), avec une durée allant d'une à deux heures. Pour chaque enquête, une fiche récapitulative de l'entretien a été rédigée, et une grande partie des informations ont été également renseignées sur tableur Excel, afin de pouvoir comparer les systèmes de culture entre eux, grâce à des analyses simples. Les méthodologies relatives à chaque question posée, ainsi que les résultats et discussions sont présentés ci-dessous.

### II.1.3 Méthodologies relatives à chaque question et présentation des résultats

Les résultats et discussions de cet axe sont présentés dans l'ordre des questions citées plus haut et reprises en Figure 3, en étant détaillés selon différentes échelles d'analyse. Cette partie se termine ensuite sur un rapport d'étonnement lié aux enquêtes, reflétant quelques points non quantifiables, mais importants pour l'étude.

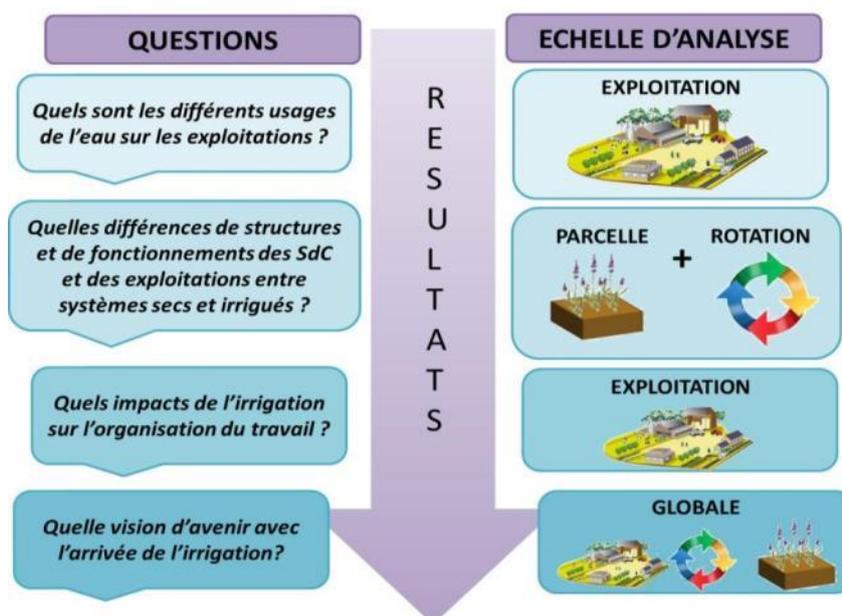


Figure 3: Schéma explicatif de la démarche et de la présentation des résultats

**Pour la première question**, le matériel d'irrigation ainsi que les assolements « productifs<sup>1</sup> » des exploitations ont été demandés pour distinguer quelles cultures sont réellement irriguées aujourd'hui. Les agriculteurs ayant signalés des changements récents de leurs assolements (depuis moins de 5 ans), il a été choisi de prendre en compte les assolements de l'année. Les jachères n'ont pas été prises en compte, car les agriculteurs n'ont pas toujours pu distinguer lors des enquêtes les surfaces réellement en jachères de celles déclarées comme surfaces d'intérêt écologique (SIE) (surfaces boisées, haies, etc...).

**Pour la deuxième question**, l'idée est de voir s'il existe des différences de structures, d'intensivité des pratiques et de performances entre des systèmes de culture au sec et irrigués. Pour cela, les questions d'enquêtes se sont focalisées sur les itinéraires techniques spécifiques des cultures à l'échelle de la parcelle. Les cultures étudiées sont celles engagées dans les rotations-cadres des exploitants, c'est-à-dire les rotations impliquant les cultures principales de l'exploitation. Des indicateurs tels que l'Indice de fréquence de traitements ont été calculés. Cet indice permet de comparer chaque traitement effectué à une référence réglementaire : 1 ITF signifie alors un traitement à la dose homologuée (pour la culture et le ravageur concernés) sur 100% de la surface de la culture. Les quantités d'intrants apportés ont également été ramenées aux rendements respectifs des cultures, afin d'obtenir une valeur d'efficacité en intrants (Annexe 10). L'azote apporté aux cultures a été exprimé en azote réellement disponible pour la plante dans l'année (les doses de fertilisants organiques ont été multipliées par le coefficient d'équivalence Keq). Puis, pour l'échelle système de culture, la composition culturale de chaque rotation-cadre a été analysée.

**La troisième question** des impacts de l'irrigation sur l'organisation du travail a été analysée à l'échelle de l'exploitation agricole. Des questions en termes de structure et de charge de travail ont été posées. Pour les exploitations d'élevage, des questions spécifiques ont été ajoutées, comme la taille ou la gestion du troupeau. **Enfin, les enquêtes se sont terminées sur les perspectives d'avenir des agriculteurs.** Les questions s'adressaient majoritairement aux exploitants au sec aujourd'hui et intéressés par l'extension du réseau SCP, afin d'appréhender les impacts que l'irrigation pourrait avoir du point de vue agro-environnemental. Les résultats et la discussion se sont cependant aussi ouverts aux autres exploitations du plateau.

<sup>1</sup> Assolement productif = Assolement de toutes les cultures productives moins les jachères et les SIE

## II.2 Quels sont les différents usages de l'irrigation aujourd'hui sur les exploitations du plateau de Valensole ?

### II.2.1 Impacts de l'irrigation sur les assolements des exploitations

L'assolement productif des différentes exploitations enquêtées permet d'avoir une première idée du type de cultures actuellement irriguées sur le plateau.

#### II.2.1.1 Exploitations de type Lavandin-Céréales

Les assolements des exploitations de type LC sont présentés en Figure 4. Un premier constat est qu'aucune exploitation n'irrigue l'intégralité de son assolement : **les cultures irriguées représentent entre 16% et 42% de la SAU productive totale de l'exploitation**. Les raisons de ce constat seront discutées dans la partie II.4 de ce mémoire. En outre, la composition et la proportion des assolements varient entre exploitations, bien que le lavandin et le blé dur soient les deux cultures communes à l'ensemble des échantillons enquêtés.

##### a) Les différences sur les deux cultures principales: blé dur et lavandin

Les évolutions de surfaces de blé dur et de lavandin sur les exploitations sont différentes, avec **une culture de lavandin qui semble actuellement bien plus attractive économiquement que le blé dur**. Le lavandin représente ainsi en moyenne 46% de l'assolement d'une exploitation. Les agriculteurs sont alors prêts à investir dans des techniques permettant d'en optimiser la production, comme l'irrigation. Ainsi, toutes les exploitations ayant accès à l'eau irriguent une partie de leur lavandin (entre 30% et 60% des surfaces). Ce résultat souligne l'essor important qu'a pris cette pratique d'irrigation depuis les années 2000-2007, après une succession d'années sèches, alors que le lavandin était traditionnellement cultivé au sec et que son irrigation semblait aberrante il y a 20 ans (Lang A. *et al.*, 2011).

Au contraire, la part du blé dur dans l'assolement a diminué depuis six ans, passant en moyenne de 40% de l'assolement productif d'une exploitation en 2011 (Lang A. *et al.*, 2011) à environ 22% en 2017. Cette diminution est particulièrement marquée pour les exploitations au sec (33% en 2011 contre 15% en 2017). De plus, seules 2 exploitations irriguées sur 5 irriguent encore leur blé dur, et en partie seulement. Lors des enquêtes, de nombreux agriculteurs ont expliqué avoir en effet arrêté l'irrigation du blé dur depuis deux ou trois ans, car la culture ne leur paraît plus assez rentable actuellement. La diminution des prix du marché mondial en blé dur, ainsi que la diminution des aides PAC accordées à cette culture peuvent expliquer en partie cette évolution.

##### b) Diversifications permises par l'eau

L'irrigation n'est pas le seul facteur expliquant le taux de diversification des cultures à l'échelle de l'exploitation. En effet, dans les exploitations au sec, le nombre de cultures totales est assez constant et varie entre 6 et 7 cultures productives différentes, alors que pour les exploitations irriguées, le nombre de culture varie de 5 (2 exploitations sur 5) jusqu'à 11 cultures (1 exploitation sur 5). **Ainsi, la stratégie globale de l'agriculteur est un autre facteur déterminant le taux de diversification**. En effet, certaines exploitations irriguées (système LCi3) n'irriguent que leur lavandin et en partie seulement, tandis que d'autres (systèmes LCi1 ou LCi4) ont pu étendre leurs assolements à des cultures irriguées spécifiques, comme le fenouil, les cultures de semences, les pommiers ou d'autres plantes à parfum, aromatiques et médicinales (PPAM) comme l'immortelle, qui commencent à être irriguées de la même manière que le lavandin (Annexe 11). Cette différence de stratégie est souvent liée à la taille de l'exploitation et à la disponibilité en main d'œuvre (voir Partie II.4). Enfin, contrairement à ce qui pouvait être rencontré sur le plateau dans les années 1990-1995 (Lang A. *et al.*, 2011), aucune culture de maïs irrigué n'a été constatée dans les assolements des exploitations. Le choix des cultures irriguées aujourd'hui a donc évolué chez les agriculteurs du plateau depuis les vingt-cinq dernières années.

**Légende :** ■ = cadre bleu = exploitation irriguée ; ■ = cadre rouge = exploitation au sec ;

= culture au sec ;

= culture irriguée

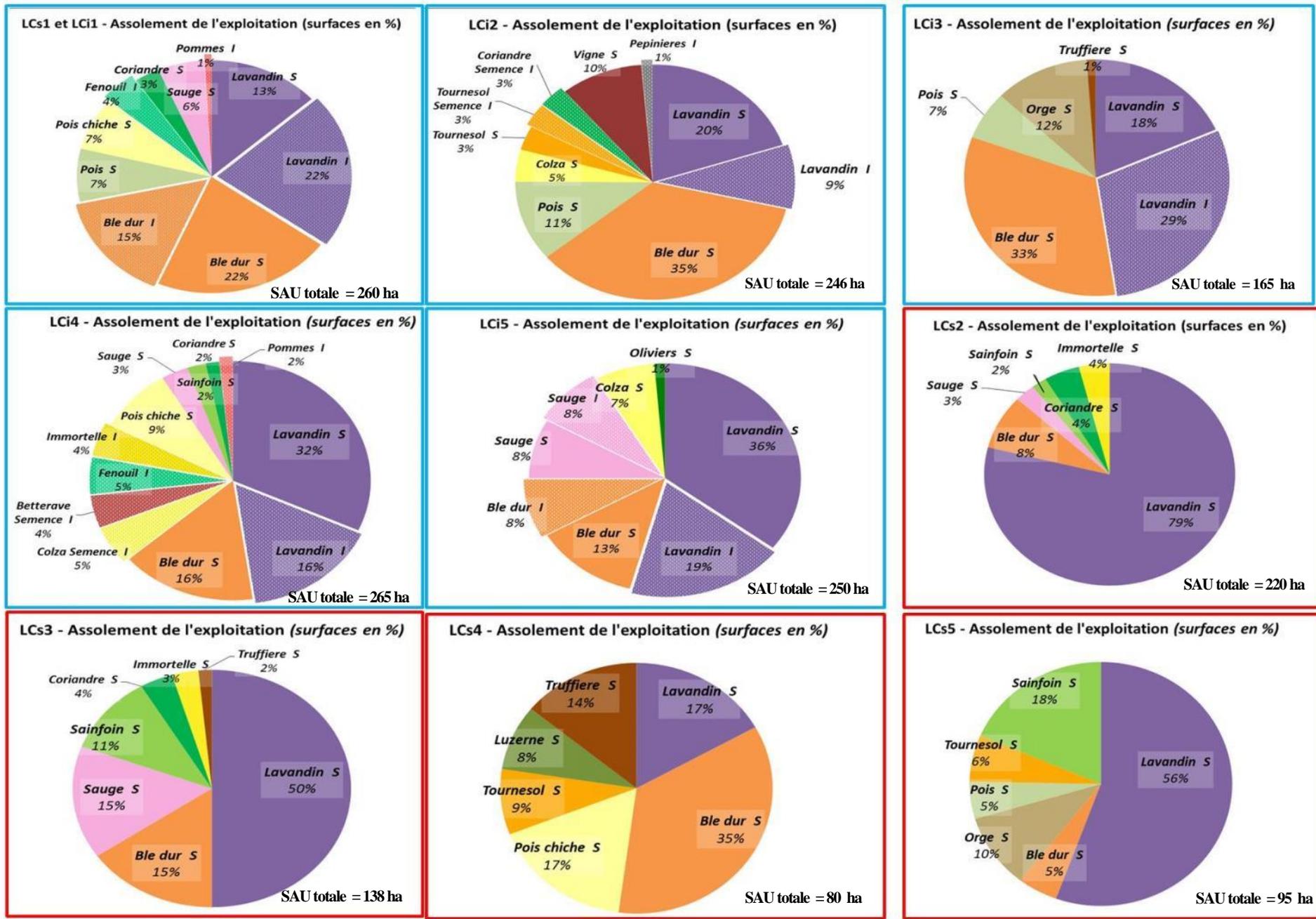


Figure 4: Représentation des différents assolements des exploitations du type Lavandin-Céréales – (LCs : Lavandin-Céréales sec ; LCI : Lavandin-Céréales irriguée)

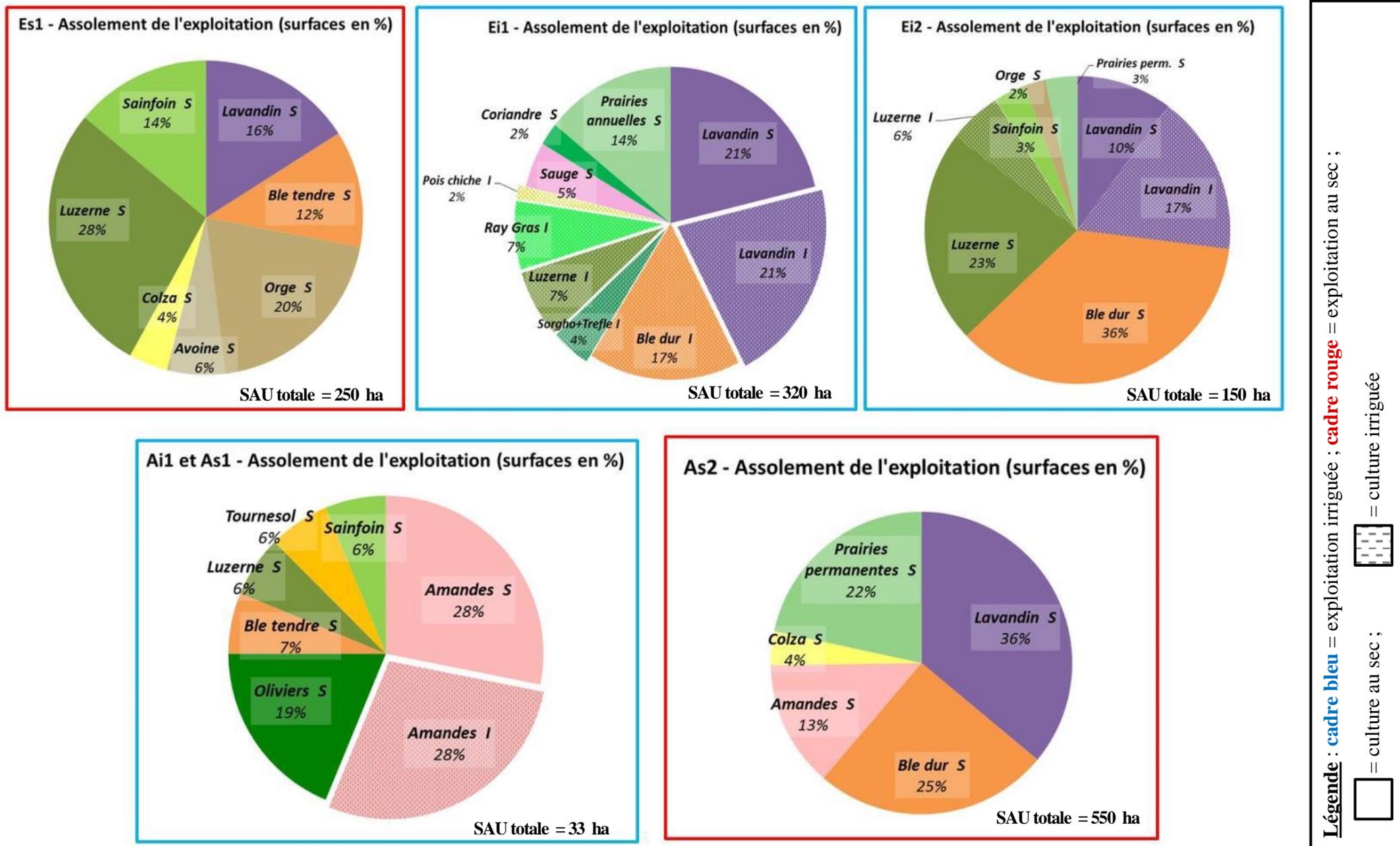


Figure 5: Récapitulatif des assolements des catégories Elevage et Arboriculture - (Ei= Elevage irrigué ; Es= Elevage sec ; Ai = Arboriculture irriguée ; As= Arboriculture sec)

### II.2.1.2 Exploitations de type Elevage

Les assolements sont résumés en Figure 5. Il est à noter ici que seuls des éleveurs ovins ont été enquêtés (élevage majoritaire sur le plateau (Annexe 12)). Comme pour la catégorie précédente, **aucun éleveur irrigant n'irrigue l'intégralité de ses surfaces productives**<sup>2</sup>: chez les irrigants, la part de SAU à l'irrigation chaque année varie de 23 à 51%. En outre, malgré leur spécialisation, tous les éleveurs enquêtés produisent également du lavandin et des céréales, en plus des nombreuses cultures fourragères et de prairies servant à l'approvisionnement du bétail, afin d'assurer la rentabilité économique des exploitations (DDT 26, 2010). Concernant le blé dur, seul 1 éleveur sur 3 irriguait encore cette culture l'année dernière, mais ce dernier a décidé d'en arrêter l'irrigation en 2017, pour les mêmes raisons économiques évoquées par la catégorie précédente. Parmi les cultures conduites en irrigation exclusivement, on retrouve **le ray-grass, le mélange sorgho+ trèfle et le pois chiche**. La luzerne, cultivée par tous les éleveurs, est irriguée en partie par 2 d'entre eux. Cette culture semble avoir petit à petit pris la place du sainfoin, qui était à l'origine fortement présent dans les assolements. **L'irrigation permet donc ici principalement une diversification des cultures fourragères servant à l'alimentation du bétail et la culture de légumineuses**, tout en permettant une assurance économique pour l'exploitation grâce à la culture de lavandin en partie irriguée (Annexe 11).

### II.2.1.3 Exploitations de type Arboriculture

Pour l'arboriculture, une première exploitation comportant 2 systèmes distincts (Ai1 et As1) a été enquêtée (Figure 5). La culture d'olives (en Agriculture Biologique (AB) ici) se fait au sec, tandis que la culture d'amandes se fait au sec pour la moitié de la surface et à l'irrigation pour l'autre moitié. Des cultures de céréales et de fourrages, labellisées AB, permettent un complément de revenus à l'agriculteur. Les amandes conduites au sec se situent sur une parcelle éloignée de tout accès à l'eau, contrairement à la parcelle d'amandes irriguées. Cet éloignement à un point d'eau est la seule raison aujourd'hui pour laquelle une partie des amandes est encore au sec: l'agriculteur a exprimé son besoin en eau pour ses parcelles éloignées. De même, il a exprimé son envie de commencer à irriguer ses oliviers (également éloignés actuellement de tout point d'eau), à cause des contraintes climatiques de ces dernières années. **L'irrigation est donc principalement utilisée pour augmenter la productivité des cultures arboricoles**. Dans la deuxième exploitation enquêtée, la culture d'amandes vient compléter un assolement constitué en grande partie de lavandin et de blé dur. Cette exploitation a à disposition de certaines de ses parcelles d'amandes d'anciennes conduites pour l'irrigation, qui sont malheureusement trop usées pour être utilisées depuis plusieurs années. L'intégralité des cultures est donc au sec, bien que l'arboriculteur ai indiqué refaire toutes ses conduites d'irrigation pour pouvoir irriguer l'année prochaine, si possible, ses amandiers et peut-être une partie de son lavandin.

### II.2.1.4 Exploitation de type Maraichage

L'agriculteur enquêté semble avoir un système de culture bien particulier, qui semble être minoritaire à l'échelle du plateau. Ce maraicher en AB est installé sur 1,8 ha de SAU et produit dans l'année plus d'une centaine de cultures différentes (fruits et légumes de saison), sur des surfaces très petites et grâce à un système d'irrigation gravitaire qu'il a pu construire à partir d'une source à proximité de ses parcelles. La complexité de son système de culture est donc difficile à analyser pour cette étude et le type *Maraichage* sera donc finalement pris en compte seulement comme une illustration d'utilisation possible de l'irrigation.

---

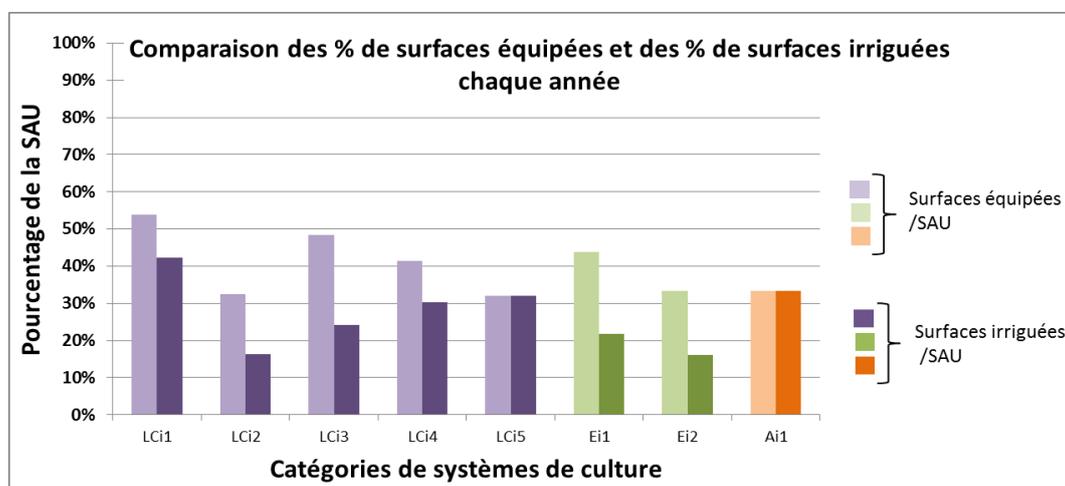
<sup>2</sup> **N.B.**: L'enquête a révélé une particularité non négligeable du système de culture Es1: l'éleveur a en effet une partie de ses terres au sec sur le plateau de Valensole (système étudié ici), mais il a également de nombreuses autres terres dans d'autres départements, où il a accès à l'irrigation. Cela aura une influence dans le fonctionnement global de son activité d'élevage, ce que nous verrons par la suite.

## II.2.2 Provenance de l'eau, Matériel d'irrigation et utilisation de l'équipement

**Provenance de l'eau :** Les résultats mettent en évidence des disparités entre catégories d'exploitations quant à la provenance de l'eau. Alors que toutes les exploitations de type *LC* ont un accès à l'eau assuré avec la souscription à plusieurs bornes du réseau SCP depuis longtemps (Annexe 13), d'autres exploitations se sont parfois tournées vers d'autres sources d'eau, plutôt individuelles, pour faire face à la sécheresse du climat (forages, retenues collinaires). Avec environ 760 millions de m<sup>3</sup> d'eau, le lac de Sainte Croix assure une bonne pérennité de l'eau pour les usagers du réseau SCP et l'eau du lac est considérée en bon état écologique et chimique (Agence de l'eau, 2009). Cependant, la pérennité des autres ressources peut varier selon le climat et la qualité de l'eau. L'eau des forages, par exemple, présente un risque de contamination en nitrate ou en produits phytosanitaires importants : il y a un risque de fermeture des captages à l'avenir par rapport à la pollution de l'eau (Annexe 14).

**Matériel d'irrigation:** Les enrouleurs restent le matériel d'irrigation le plus utilisé par les exploitants enquêtés (Annexe 15). Les irrigants de type *LC* et *E* disposent d'ailleurs tous de plusieurs enrouleurs pour leurs cultures et un seul dispose en plus d'un pivot. En outre, les exploitations diversifiées en pommiers ont également des microjets/microasperseurs. Enfin l'arboriculteur irriguant enquêté irrigue la moitié de ses amandes par aspersion avec des arroseurs de pelouse et l'autre moitié avec du goutte à goutte de surface. Quant au goutte à goutte enterré, celui-ci est testé sur différentes cultures, dans plusieurs exploitations du plateau, afin d'avoir un premier retour d'expérience de cette technique d'irrigation, a priori plus économe en eau que les enrouleurs. Cependant, quelques craintes subsistent chez les agriculteurs vis-à-vis de cette technique qui reste donc expérimentale (Annexe 16).

**Utilisation de l'équipement :** Dans la majorité des cas, la surface réellement irriguée à l'année (cf les assolements décrits en partie II.2.1) est inférieure à la surface irrigable, d'après les dires d'agriculteurs (Figure 6). Seuls le système arboricole Ai1 et le système LCi5 utilisent 100% de leur surface irrigable chaque année. Cela indique donc une stratégie d'équipement plutôt prudente de la part des agriculteurs, à l'époque de la pose du réseau d'irrigation, afin de pallier d'éventuels besoins en eau supplémentaires certaines années ou pour les cultures de l'époque (maïs, etc...).



**Figure 6: Comparaison des surfaces équipées avec les surfaces réellement irriguées chaque année** (Violet : systèmes de culture type Lavandin-Céréales. Vert : systèmes de culture type Elevage. Orange : systèmes de culture type Arboriculture) (LCi = Type Lavandin-Céréales irrigué ; Ei = Type Elevage irrigué et Ai = Type Arboriculture irrigué)

## II.2.3 Outils d'aide au pilotage de l'irrigation

Tous les agriculteurs disent se baser sur leur expérience et sur le suivi météorologique (consultation des prévisions et prise en compte des précipitations) pour décider quand ils arrosent leurs cultures (Annexe 15). Seuls deux systèmes de culture irrigués (LCi1 et LCi4) disposent de matériel de mesure d'humidité des sols sur l'exploitation, grâce à leur culture de pommiers, dont l'irrigation est très suivie par les agriculteurs pour contrôler la qualité et la longévité de ces cultures pérennes. Des sondes tensiométriques

sont donc installées sur ces parcelles. Actuellement, trois exploitations du plateau ont participé à une expérimentation de la SCP et ont ainsi pu obtenir une station météorologique sur leurs parcelles de lavandin. Ces stations pourront servir aux agriculteurs concernés pour connaître les quantités d'eau précises apportées sur leurs parcelles par les précipitations. Pour l'avenir, il serait intéressant d'étendre ces dispositifs météorologiques à d'autres exploitations et également d'augmenter les équipements de mesure d'humidité des sols sur davantage de cultures : cela permettrait une meilleure maîtrise de l'irrigation, mais probablement aussi une économie d'eau sur le territoire.

## II.3 Quelles différences de structures et de fonctionnement des agrosystèmes existe-il entre systèmes au sec et systèmes irrigués ?

### II.3.1 Résultats et discussion à l'échelle de la parcelle

#### II.3.1.1 Pilotage de l'irrigation des cultures

##### a) Irrigation des cultures de Lavandin et de Blé dur

L'analyse de toutes les cultures n'étant pas possible à cause de la durée des enquêtes, il a été choisi de se focaliser sur une rotation-cadre par exploitation (échelle système de culture), faite par l'agriculteur depuis au moins un an, dans laquelle sont impliquées des cultures irriguées (pour les systèmes de type LCi, Ei et Ai) ou des cultures au sec (pour les systèmes LCs, Es et As). Les rotations sont présentées dans l'Annexe 17. Pour les systèmes irrigués, il peut exister au sein d'une même rotation à la fois des cultures sèches et des cultures irriguées. L'étude des stratégies d'irrigation va dans un premier temps se focaliser sur les deux cultures majoritaires et historiques du plateau : le lavandin et le blé dur.

**Tableau 1: Résumé des stratégies d'irrigation sur Lavandin et Blé dur engagés dans des rotations-cadres**  
(Les valeurs du tableau sont représentées de la manière suivante : **moyenne** (valeur minimale à valeur maximale))

Cultures engagées dans une rotation cadre	Nb moyen de passages d'irrigation par an	Qté d'eau moyenne apportée par passage	Période du premier passage d'irrigation	Période du dernier passage d'irrigation	Type d'irrigation	Raisonnement irrigation	Qté d'eau totale apportée à la culture en moyenne par an
<b>Lavandin irrigué</b>	<b>2,3</b> (1 à 3)	<b>35 mm</b> (30 à 45 mm)	<b>Mai</b> (avril à août)	<b>Août</b> (juin à septembre)	Pré-récolte et/ou Post-récolte	Prévue tous les ans ou Seulement si sécheresse	<b>76 mm</b> (45 à 90 mm)
<b>Blé dur irrigué</b>	<b>3</b> (2 à 4)	<b>30 mm</b> (-)	<b>Avril</b> (-)	<b>Juin</b> (mai à juin)	Pré-récolte	Prévue tous les ans	<b>100 mm</b> (90 à 120 mm)

**Pour le lavandin irrigué:** Les stratégies des 5 lavandiculteurs irrigants sont proches sur les quantités d'eau apportées par passage : 35 mm d'eau, pour 2 à 3 passages d'enrouleurs en moyenne (Tableau 1). Cependant, les raisonnements diffèrent selon les cas : certains prévoient l'irrigation en amont (3 agriculteurs sur 5) alors que d'autres n'arrosent la culture qu'en cas de sécheresse. En outre, la pratique de l'irrigation en post-récolte (août ou septembre) est assez répandue (3 agriculteurs sur 5), qu'elle soit exclusive ou en complément d'autres irrigations de printemps en pré-récolte. En effet, il a été constaté par les lavandiculteurs que le lavandin avait tendance à reprendre une meilleure vigueur lorsqu'il était irrigué après récolte. Parfois même, l'irrigation permettrait au lavandin de durer plus longtemps après avoir été touché par le dépérissement. Les quantités d'eau totales apportées par an sur lavandin irrigué varient ainsi de 45 à 90 mm (76 mm d'eau en moyenne par an).

**Pour le blé dur irrigué:** Contrairement au lavandin, l'irrigation est toujours prévue en amont, avec 2 à 4 passages d'eau entre avril et juin à 30 mm d'eau par passage (Tableau 1). Certains choisissent d'ailleurs des variétés particulièrement productives sous irrigation (ex : variétés Babylone ou Miradou contre variété

Claudio habituellement utilisée au sec), avec des densités de semis plus importantes (400 graines/m<sup>2</sup> au lieu de 320 graines/m<sup>2</sup>), afin d'augmenter les rendements. La quantité d'eau apportée par irrigation chaque année sur le blé dur est supérieure à celle du lavandin irrigué, avec des quantités allant de 90 à 120 mm par an (moyenne à 100 mm).

### ***b) Irrigation des autres cultures des rotations étudiées***

Concernant les autres cultures irriguées, le Tableau 2 les classe selon les quantités d'eau totales apportées (par ordre décroissant). Pour ces cultures, le raisonnement de l'irrigation se fait toujours en amont et est prévu tous les ans par les agriculteurs. Les cultures consommant le plus d'eau sont celles avec des contrats particuliers : **la culture de betterave semence** (750 mm par an), sous contrats avec des entreprises semencières et **la culture de fenouil** (300 mm par an), dont les contrats de production se font avec l'entreprise Pernot-Ricard. Ces différents contrats imposent notamment des cahiers des charges ou des rendements minimums, impliquant une irrigation importante et régulière pour assurer la production. Une irrigation en post-récolte est souvent effectuée en plus des irrigations en pré-récolte sur le fenouil (en place 3 ans), afin de redonner de la vigueur aux plants en été, après la coupe, pour faire face à la sécheresse. **La culture d'amande** consomme également une quantité assez importante d'eau (240 mm par an): l'irrigation se faisant au goutte à goutte de surface ou par arroseur de jardin chez l'arboriculteur enquêté, celle-ci est donc quotidienne et plutôt régulière entre mai et août. **Les cultures fourragères** (luzerne et ray-grass) ne sont ni des cultures de semences, ni soumises à des contrats particuliers, mais l'irrigation (> 100 mm par an) permet d'augmenter les rendements et permet également une meilleure reprise de végétation après les premières fauches. Enfin, dans sa rotation-cadre, un des agriculteurs a commencé l'irrigation d'une culture de PPAM habituellement conduite au sec sur le plateau : la sauge sclarée. D'après l'agriculteur, 2 irrigations à 30 mm d'eau chacune en pré-récolte permettent une augmentation de la qualité et de la quantité d'huile essentielle produite à l'hectare.

**Tableau 2: Résumé des stratégies d'irrigation des autres cultures engagées dans des rotations-cadres**

Cultures engagées dans une rotation cadre	Système de culture	Nb de passages d'irrigation par an	Qté d'eau apportée par passage	Période du premier passage d'irrigation	Période du dernier passage d'irrigation	Type d'irrigation	Raisonnement irrigation	Qté d'eau d'irrigation totale apportée à la culture par an
<i>Betterave semence irriguée</i>	LCi4	25	30 mm	Mars	Aout	Pré-récolte	Prévu tous les ans	750 mm
<i>Fenouil irrigué</i>	LCi1	10	30 mm	Avril	Aout	Pré-récolte + Post-récolte	Prévu tous les ans	300 mm
<i>Luzerne irriguée</i>	Ei1	12	30 mm	Avril	Septembre	Pré-récolte + Post-récolte	Prévu tous les ans	360 mm
	Ei2	7	22 mm	Juin	Juin	Pré-récolte	Prévu tous les ans	154 mm
<i>Amandes irriguées</i>	Ai1	120	2 mm	Mai	Aout	Pré-récolte	Prévu tous les ans	240 mm
<i>Ray-Grass irrigué</i>	Ei1	4	30 mm	Decembre	Juin	Pré-récolte	Prévu tous les ans	120 mm
<i>Sauge irriguée</i>	LCi5	2	30 mm	Mai	Juin	Pré-récolte	Prévu depuis cette année	60 mm

### ***II.3.1.2 Performances agronomiques des cultures***

L'arrivée de l'irrigation dans un système de culture peut avoir un impact sur les itinéraires techniques et sur les rendements. Les différences de performances agronomiques des cultures présentes dans les rotations-cadres ont été analysées, pour **comparer les cultures au sec avec les cultures irriguées**. Nous avons choisi de nous concentrer en particulier sur le lavandin et le blé dur, selon que ces cultures soient irriguées ou non. En effet, ce sont les cultures qui reviennent le plus dans les rotations étudiées. Des exemples d'itinéraires techniques sont détaillés dans l'Annexe 18.

#### ***a) Performances agronomiques du lavandin***

**Les intrants** : Les moyennes présentées dans le Tableau 3 ci-dessous ont été faites sur 5 systèmes de culture à chaque fois. Concernant les traitements phytosanitaires, les résultats indiquent des IFT totaux quasiment similaires entre lavandin sec et lavandin irrigué: 3,9 en irrigué contre 3,7 en moyenne au sec. La même constatation peut être faite pour la fertilisation, apportée principalement en un apport d'engrais

complet (apports d'azote, phosphore et potassium) au printemps (Annexe 18). Les doses d'azote apportées sont très proches dans les deux systèmes (environ 55 kg d'N/ha) et n'augmentent en moyenne que de 3 kg d'azote par hectare en système irrigué. Ces résultats confortent les explications reçues sur le terrain : tous les agriculteurs ayant à la fois du lavandin irrigué et au sec au sein de leur exploitation appliquent le même itinéraire technique (à part l'irrigation) sur les deux systèmes. Il est alors intéressant de voir si des différences de rendements existent entre lavandin irrigué et lavandin au sec.

**Les rendements** : Les résultats mettent en évidence des rendements moyens (exprimés en kg d'huile essentielle par hectare) supérieurs en lavandin irrigué (156 kg HE/ha) qu'en lavandin sec (112 kg HE/ha). Ces différences sont également observées sur les rendements maximaux dans les deux catégories. Pourtant, les variétés de lavandin (variété Grosso) et les densités de plantation (entre 7000 à 7500 plants/ha) sont les mêmes entre les systèmes irrigués ou au sec : ces facteurs ne sont pas ceux qui expliquent les différences de rendement observées ici.

**Les efficacités d'utilisations des intrants** : Les différences de rendement observées entre lavandin sec et irrigué peuvent être dues à divers facteurs (qualité du sol, âge des plants, etc...), mais il semble que l'irrigation joue un rôle direct dans leur augmentation. En effet, pour de mêmes potentiels de rendement de départ (densités de plantation et variétés) et des itinéraires techniques quasiment identiques, les efficacités d'utilisation de produits phytosanitaires (42,7 kg d'HE.ha<sup>-1</sup>/point d'IFT en moyenne en irrigué contre 32,9 au sec) et les efficacités d'utilisation d'azote (2,8 kg d'HE.ha<sup>-1</sup>/unité d'azote en irrigué contre 2,1 au sec) sont meilleures en lavandin irrigué qu'en lavandin sec (Annexe 19). D'ailleurs, certains agriculteurs précisent que l'irrigation permettrait une meilleure reprise de végétation après la récolte (irrigation du mois d'août) et une limitation de la mortalité des plants lors de période de sécheresse importantes (irrigation pré et post récolte). En outre, un essai du CRIEPPAM, réalisé en 2006, a montré que la teneur en huile essentielle des plants augmentait lorsque le lavandin recevait 1 à 2 arrosages par an, par rapport à du lavandin au sec, et que la composition en certains composants changeait. De plus, il semble qu'une irrigation adéquate permette aux plants de lavandin de garder plus longtemps dans la saison un rendement proche de son rendement potentiel (CRIEPPAM, 2006). **L'irrigation du lavandin n'entraîne donc pas d'augmentation de pression polluante en azote ou en produit phytosanitaire sur les parcelles par rapport au système au sec, puisque les quantités d'intrants sont quasiment identiques et que les efficacités d'utilisation sont meilleures.**

**Tableau 3: Différences de rendements et d'efficacités d'utilisation des intrants pour Lavandin sec et Lavandin irrigué**  
(Les valeurs du tableau sont représentées de la manière suivante : **moyenne** (valeur minimale à valeur maximale))

	Rendements moyens (en kg HE/ha)	IFT totaux moyens	Moyennes des Efficacités en Produits Phytosanitaires (en kg d'HE.ha <sup>-1</sup> /point d'IFT)	Moyennes des Doses d'Azote apportées (en kg de N/ha)	Moyennes des Efficacités en Azote (en kg d'HE.ha <sup>-1</sup> /unité d'azote)
<b>Lavandin Sec</b>	<b>112</b> (de 80 à 150)	<b>3,7</b> (de 2 à 5)	<b>32,9</b> (de 25 à 55)	<b>53,2</b> (de 42 à 59,5)	<b>2,1</b> (de 1,79 à 2,52)
<b>Lavandin Irrigué</b>	<b>156</b> (de 120 à 200)	<b>3,9</b> (de 2,5 à 5,5)	<b>42,7</b> (de 24 à 57)	<b>56,3</b> (de 45 à 68,5)	<b>2,8</b> (de 2,02 à 3,36)

### **b) Performances agronomiques du blé dur**

Comme décrit dans l'Annexe 17, le blé dur irrigué n'est présent que dans 3 rotations-cadres étudiées sur 7 (LCi1, LCi5 et Ei5). Les moyennes ont donc été faites sur 3 systèmes pour blé dur irrigué et 8 systèmes pour blé dur sec (Tableau 4).

**Tableau 4: Différences de rendements et d'efficacités d'utilisation des intrants pour Blé dur sec et Blé dur irrigué**  
(Les valeurs du tableau sont représentées de la manière suivante : **moyenne** (valeur minimale à valeur maximale))



	Rendements moyens (en q/ha)	IFT totaux moyens	Moyennes des Efficacités en Produits Phytosanitaires (en kg d'HE.ha-1/point d'IFT)	Moyennes des Doses d'Azote apportées (en kg de N/ha)	Moyennes des Efficacités en Azote (en kg d'HE.ha-1/unité d'azote)
<b>Blé dur Sec</b>	<b>36</b> (30 à 43)	<b>2,1</b> (2 à 2,8)	<b>17,1</b> (12,5 à 21,5)	<b>142</b> (117,3 à 170,2)	<b>0,26</b> (0,21 à 0,3)
<b>Blé dur Irrigué</b>	<b>58,3</b> (50 à 65)	<b>2,5</b> (2 à 3,05)	<b>23,4</b> (21,3 à 24)	<b>184,9</b> (161,3 à 206,4)	<b>0,32</b> (0,31 à 0,32)

**Les intrants** : Contrairement au lavandin, l'irrigation du blé dur entraîne des augmentations d'intrants. Les IFT sont supérieurs de 20% environ en blé dur irrigué (2,5 contre 2,1 au sec en moyenne), avec une augmentation des fréquences d'utilisation de fongicides notamment (Annexe 19). La fertilisation est également augmentée d'environ 50 kg d'azote/ha, avec en moyenne 185 kg d'azote/ha apportés en irrigation, contre 142 kg d'azote/ha en blé dur sec (augmentation de 30% par rapport au blé dur sec). Celle-ci se fait principalement avec de l'ammonitrate, apportés en 2 ou 3 fois entre février et début juin (Annexe 18). Quels sont alors les impacts sur les rendements ?

**Les rendements** : Les résultats indiquent la supériorité des rendements de blé dur irrigué par rapport aux rendements de blé dur sec (rendements environ 1,6 fois supérieurs), avec respectivement 58 q/ha en moyenne en irrigué contre 36 q/ha en moyenne sur blé dur sec.

**Les efficacités d'utilisations des intrants** : Comme précisé dans le chapitre précédent, l'irrigation du blé dur se raisonne en amont chez les agriculteurs, qui choisissent souvent des variétés plus performantes sous irrigation et avec des densités de plantation supérieures. De plus, les quantités d'intrants apportés à la culture sont augmentées avec l'irrigation : les potentiels de rendement au départ sont donc supérieurs pour le blé dur irrigué. Malgré la supériorité d'intrants apportés, l'augmentation des rendements permet une efficacité d'utilisation des produits phytosanitaires qui reste en moyenne meilleure en système irrigué (23,4 kg d'HE.ha<sup>-1</sup>/point d'IFT) qu'en système au sec (17,1 kg d'HE.ha<sup>-1</sup>/point d'IFT). De même, l'augmentation de la fertilisation réduit l'écart d'efficacité d'utilisation de l'azote entre blé dur sec et blé dur irrigué, mais celle-ci reste malgré tout meilleure en système irrigué (0,32 kg d'HE.ha<sup>-1</sup>/unité d'azote contre 0,26 au sec). **Les risques de voir augmenter la pression polluante en azote avec l'irrigation de la culture sont donc présents mais limités par le fait que l'efficacité d'utilisation de l'azote est meilleure qu'en blé dur sec.** De plus, bien qu'elle apporte des rendements supérieurs à ceux du blé dur sec, l'irrigation de cette culture est une pratique qui tend à disparaître depuis quelques temps à cause des faibles valeurs de vente du blé dur à l'échelle mondiale.

### **c) Performances agronomiques des autres cultures**

**Amandes** : Les systèmes As1 et Ai1 sont issus de la même exploitation, qui pratique les mêmes conduites en termes de produits phytosanitaires (IFT de 7,7) et d'azote (18 kg d'N/ha) avec ou sans irrigation (Tableau 5). Cependant, les amandes irriguées ont une plus grande densité de plantation (densité augmentée d'environ 24%). Pour cette exploitation, **la supériorité des rendements en irrigation (système Ai1) par rapport au système sec (As1) (2 tonnes/ha en irrigation contre 1,5 tonnes/ha au sec) peut donc en partie être expliquée par la densité de plantation, mais aussi par l'irrigation**, qui permet de mieux atteindre le potentiel de rendement initial. D'ailleurs, les efficacités d'utilisation de produits phytosanitaires et d'utilisation d'azote sont supérieures en système irrigué d'environ 38% chacune. Pour la deuxième exploitation (système As2), les rendements sont nettement supérieurs à ceux de l'exploitation précédente (rendements secs et irrigués). Cela peut peut-être s'expliquer par des densités de plantation plus élevées dans le système As2 (malheureusement cette information n'a pas été transmise lors de l'enquête). De plus, la plus grande quantité d'azote apporté (55 kg d'N/ha), ainsi qu'une bonne efficacité d'utilisation de produits phytosanitaires (0,47 kg d'HE.ha<sup>-1</sup>/point d'IFT) sont autant de facteurs explicatifs de ce rendement. L'efficacité d'utilisation de l'azote étant cependant plus faible que dans la première

exploitation, il serait intéressant de voir si l'eau peut-être ici un facteur limitant l'atteinte du potentiel de rendement initial.

**Tableau 5: Rendements et Intensivité des pratiques de la culture d'amande**



	Systèmes de culture	Rendements (en t/ha)	Densité de plantation (arbres/ha)	ITF totaux	Efficiences d'utilisation Produits Phytosanitaires (en kg d'HE.ha-1/point d'IFT)	Azote total apporté (en kg de N/ha)	Efficiences d'utilisation Azote (en kg d'HE.ha-1/unité d'azote)
<b>Amandes Sec</b>	As1	1,5	230	7,7	0,19	18	0,08
<b>Amandes Sec</b>	As2	2,8	nsp	6	0,47	55	0,05
<b>Amandes Irrigué</b>	Ai1	2	285	7,7	0,26	18	0,11

**Autres cultures**: Il est difficile de comparer des efficacités d'utilisation d'intrants pour des cultures rencontrées une seule fois dans les rotations lors des enquêtes. Cependant, pour avoir un ordre de grandeur en termes d'intensivité des pratiques selon la présence ou l'absence d'irrigation, le Tableau 6 a été créé à partir des itinéraires techniques décrits par les agriculteurs. Il classe, par ordre décroissant, les cultures rencontrées selon les doses d'azote apportées par hectare.

La culture la plus intensive en intrants est la culture de betterave semence, qui est aussi la plus consommatrice en eau (cf Tableau 2), avec une fertilisation supérieure à 200 kg d'N/ha et un IFT de 6,5. En effet, **les contrats de semences imposent souvent des cahiers des charges très strictes, impliquant davantage d'intrants dans le système pour limiter tout risque de sous rendement par rapport à l'objectif.** Sur des sols particulièrement drainants comme c'est le cas sur une partie du plateau, le risque de lixiviation et de drainage est donc assez important pour cette culture. Il est cependant intéressant de constater que les cultures qui suivent dans le tableau (fertilisation entre 100 et 200 kg d'N/ha) sont représentées en grande partie par des **cultures de céréales conduites au sec**, avec notamment la culture de colza, également intensive en termes de traitements phytosanitaires (IFT =6). Ainsi, **l'irrigation n'est pas le principal facteur induisant une intensification des pratiques, puisque les cultures au sec ont déjà un fort niveau d'intrant.** La seule culture irriguée dans cette plage de fertilisation est le **ray-grass**. En outre, **les cultures de PPAM** ont souvent une fertilisation plutôt faible (entre 30 et 50 kg d'N/ha), que ce soit en

**Tableau 6: Rendements et Intensivité des pratiques des autres cultures des rotations étudiées**

(Les valeurs sont représentées ainsi : **moyenne** (valeur minimale à valeur maximale))

Cultures	Irrigué ou Sec	Rendements moyens	Moyennes des IFT totaux	Moyennes des Doses d'Azote apportées (en kg de N/ha)
<b>Betterave Semence (rdt en q/ha)</b>	<b>Irrigué</b>	<b>28</b>	<b>6,5</b>	<b>235</b>
<b>Colza (rdt en q/ha)</b>	<b>Sec</b>	<b>18</b>	<b>6</b>	<b>159</b>
<b>Ray-Grass (rdt en t de foin/ha)</b>	<b>Irrigué</b>	<b>6,5</b>	<b>0</b>	<b>132</b>
<b>Coriandre (rdt en kg HE/ha)</b>	<b>Sec</b>	<b>15</b> (-)	<b>1,8</b> (1,6 à 2)	<b>103</b> (100 à 106)
<b>Orge (rdt en q/ha)</b>	<b>Sec</b>	<b>38,7</b> (16 à 60)	<b>1,7</b> (1 à 2)	<b>95</b> (84 à 137)
<b>Oliviers AB (rdt en t/ha)</b>	<b>Sec</b>	<b>1</b>	<b>3,85</b>	<b>66</b>
<b>Avoine (rdt en q/ha)</b>	<b>Sec</b>	<b>30</b>	<b>2</b>	<b>63</b>
<b>Blé tendre (rdt en q/ha)</b>	<b>Sec</b>	<b>40</b>	<b>2</b>	<b>63</b>
<b>Sauge (rdt en kg HE/ha)</b>	<b>Irrigué</b>	<b>22</b>	<b>2</b>	<b>49</b>
<b>Sauge (rdt en kg HE/ha)</b>	<b>Sec</b>	<b>22</b>	<b>2</b>	<b>42</b>
<b>Fenouil (rdt en kg HE/ha)</b>	<b>Irrigué</b>	<b>200</b>	<b>4,3</b>	<b>39</b>
<b>Tournesol (rdt en q/ha)</b>	<b>Sec</b>	<b>16,8</b> (16 à 17,5)	<b>2,5</b> (1 à 4)	<b>2</b> (0 à 4)
<b>Pois (rdt en q/ha)</b>	<b>Sec</b>	<b>24,5</b> (18 à 30)	<b>5</b> (3 à 7)	<b>0</b> (-)
<b>Pois Chiche (rdt en q/ha)</b>	<b>Sec</b>	<b>15</b>	<b>1</b>	<b>0</b>
<b>Luzerne (rdt en t de foin/ha)</b>	<b>Irrigué</b>	<b>9,5</b> (7 à 12)	<b>1</b> (-)	<b>0</b> (-)
<b>Luzerne (rdt en t de foin/ha)</b>	<b>Sec</b>	<b>7</b>	<b>1</b>	<b>0</b>
<b>Sainfoin (rdt en t de foin/ha)</b>	<b>Sec</b>	<b>4,75</b> (4 à 5)	<b>0,25</b> (0 à 1)	<b>0</b> (-)

irrigation ou au sec, pour des IFT entre 2 (Sauge) et 4,3 (Fenouil). Enfin, **les cultures de légumineuses**, dont la luzerne irriguée, sont les cultures le moins intensives en intrants, puisqu'aucun apport de fertilisants n'est utilisé.

**Ainsi, l'irrigation n'entraîne pas forcément l'intensification des pratiques sur les cultures, et peut même augmenter leurs performances agronomiques.** En effet, il semble que ce soit plutôt le type de culture (en particulier les grandes cultures) et le type de contrats/débouchés (en particulier les contrats de semences) qui influencent le plus l'intensivité des pratiques en terme de traitements et de fertilisation.

### II.3.1.3 Gestion de l'enherbement des parcelles en plantes pérennes

Afin de vérifier si l'irrigation permet de développer certaines pratiques favorables du point de vue environnemental, la gestion de l'enherbement des cultures pérennes ou semi-pérennes a été étudiée (détails présentés en Annexe 20). Premièrement, tous les arboriculteurs enquêtés pratiquent l'enherbement de leurs parcelles (rangs et inter-rangs). **Cependant, cette pratique est encore rare en lavandin sur le plateau de Valensole**, malgré les avantages que cela peut présenter sur le système (réduction de l'érosion, barrière physique contre les cicadelles, réduction des désherbages chimiques, etc..), et ce même sur des parcelles irriguées. Seul 1 lavandiculteur sur les 10 enquêtés sème un couvert en inter-rang dans ses lavandins, tout en étant en système sec. Malgré l'accès à l'irrigation, il semble que les agriculteurs soient encore réticents aujourd'hui à cette pratique, par peur de la concurrence en eau, en nutriments, mais également à cause de l'image de leurs parcelles face aux touristes et à leurs voisins (Véchambre, 2016). Plusieurs programmes d'actions et d'expérimentations ont d'ailleurs été mis en place dans le cadre du projet REGAIN avec le PNRV et le CRIEPPAM, afin d'appuyer le développement des pratiques d'enherbement, qui permettent une réduction des traitements herbicides à la parcelle et donc une réduction du risque de lixiviation et de drainage.

### II.3.2 Résultats et discussion à l'échelle du système de culture

Une des questions soulevées lors de cette étude a été de savoir si l'accès à l'irrigation joue sur la structure des rotations-cadres réalisées actuellement sur le plateau de Valensole. Le Tableau 7 récapitule la composition des différentes rotations-cadres des exploitations de type *Lavandin-Céréales (LC)* et *Elevage (E)*, en fonction de la présence ou l'absence d'irrigation. L'ensemble des rotations-cadres sont décrites en détail dans l'Annexe 17 et quelques exemples sont présentés en Figure 7.



Figure 7: Exemples de rotations-cadres rencontrées par type de système de culture

**Systèmes type Lavandin-Céréales :** Contrairement aux rotations peu diversifiées rencontrées à certaines périodes sur le plateau (alternance de blé dur et de lavandin), **la diversité culturelle des rotations actuelles a augmenté** (jusqu'à 6 cultures différentes pour LCs5). Les délais de retour du lavandin (culture principale) dans la rotation ont augmenté jusqu'à 7 années sans lavandin aujourd'hui sur certaines parcelles (LCs3, LCs5, LCi1). Cependant, l'irrigation ne semble pas être le facteur expliquant l'augmentation de la diversité culturelle moyenne des rotations ou du délai de retour du lavandin (5,2 années en moyenne en irrigation contre 5,8 en sec). La part de légumineuses dans les rotations en irrigation est même inférieure à celle des systèmes au sec (8% contre 13%), pour une proportion de blé dur quasiment identique (21 % contre 22%). D'autres facteurs influent donc sur la diversification des rotations (voir Partie II.5).

**Tableau 5: Composition des différentes rotations-cadres des systèmes étudiés**

	Catégories	ROTATION: Nb MOYEN de cultures différentes	Temps de retour MOYEN de la culture principale (années)	ROTATION: Nb MOYEN de légumineuses	Nb d'années de légumineuses/ durée totale rotation (%)	Nb d'années de blé dur/ durée totale rotation (%)
AU SEC	LCs	4 (3 à 6)	5,8 (3 à 7)	1 (0 à 1)	10,6 % (0 à 21 %)	22,6% (14 à 31 %)
	Es	5	8	2	54%	8%
A IRRIGATION	LCi	3,6 (3 à 5)	5,2 (3 à 7)	0,4 (0 à 1)	3% (0 à 8%)	20,8% (17 à 27%)
	Ei	3 (-)	3 (2 à 4)	1,5 (1 à 2)	80% (71 à 89 %)	12,5% (11 à 14%)

**Système type Elevage** : Ces systèmes ont une grande part de légumineuses dans leur rotation-cadre, puisqu'elles constituent souvent des cultures fourragères pour les animaux. De plus, il semble ici que l'irrigation permette une augmentation de la part de légumineuses dans la durée de la rotation complète (80% en irrigation contre 54% au sec), notamment grâce à la luzerne irriguée, pour une proportion de blé dur assez proche (13% en irrigation contre 8% en sec). Cependant, ici aussi l'irrigation ne semble pas augmenter la diversité culturelle de la rotation (3 cultures différentes en irrigué contre 5 en sec).

**Systèmes toutes catégories** : L'ensemble des agriculteurs enquêtés ont exprimé que le raisonnement de leurs rotations était en pleine évolution depuis les cinq dernières années (modifications de la PAC, changement climatique, contexte économique,...) et que leurs assolements avaient vocation à évoluer encore ces prochaines années. Afin d'orienter ces changements vers des pratiques plus durables, un accompagnement technique par divers acteurs du territoire, dont celui du raisonnement de l'irrigation, semble aujourd'hui indispensable.

## II.4 Quels sont les impacts de l'irrigation sur l'organisation du travail ?

### II.4.1 Gestion de la charge de travail

#### II.4.1.1 Irrigation des cultures

L'arrivée de l'irrigation sur une exploitation n'est pas sans impacts sur le rythme et la charge de travail pour les agriculteurs. La plupart des irrigations pour les cultures étudiées ici se font par aspersion avec des enrouleurs et plusieurs passages sont nécessaires pour irriguer une seule parcelle. En effet, un passage d'enrouleur irrigue en moyenne une surface de 3 ha (72 m de large pour 350 à 500 m de long) (Source: entretien avec un agriculteur irrigant du plateau). La pose et le démarrage des enrouleurs durent entre 20 et 30 minutes et l'irrigation d'une ligne complète se termine en général entre 12 et 18 heures plus tard. L'enrouleur est ensuite déplacé par tracteur jusqu'à la prochaine ligne d'irrigation (Figure 8). En outre, l'aspersion ne peut pas se faire en cas de vent (risque de pertes par dispersion trop importantes) et il arrive que les agriculteurs doivent modifier et ajuster à la demi-heure près le départ ou l'arrêt de l'aspersion. **Cela nécessite donc une grande adaptabilité de la part de l'agriculteur**, ce qui explique en partie pourquoi la surface maximale irriguée chaque année ne dépasse pas 50% à l'échelle de l'exploitation.

Pour les cultures d'amandes, les systèmes d'irrigation (goutte à goutte de surface ou petits asperseurs) ne nécessitent pas de temps de déplacement, contrairement aux enrouleurs. Cependant, l'arboriculteur enquêté ici souligne la charge de travail importante due à la réparation des fuites ou les dégâts causés par les sangliers (de 3 à 12 heures par semaine en cas de dégâts). Les sangliers sont en effet très nombreux sur le plateau et provoquent de nombreux dégâts en agriculture. Ces exemples permettent de mieux comprendre que l'irrigation implique une organisation et une structure particulière au sein des exploitations agricoles. A l'avenir, une étude plus approfondie des calendriers de temps de travaux des agriculteurs serait utile, pour déterminer plus précisément les pics de travaux, mais également la charge totale que représente l'irrigation à l'année.



**Figure 8: Illustration de l'irrigation par bandes du blé dur et du lavandin avec des enrouleurs**  
***Crédit photos : Denis Vernet***

### **II.4.1.2 Distilleries locales**

En outre, les enquêtes ont révélé un impact de l'irrigation sur l'organisation qui n'était pas attendu à priori. En effet, plusieurs agriculteurs de la zone irriguée du réseau ont expliqué que l'arrivée du réseau SCP, à proximité de leur exploitation, a permis le **développement de plusieurs distilleries locales**, personnelles ou bien partagées entre quelques voisins. L'eau est en effet nécessaire pour le circuit de distillation des PPAM : une distillerie locale a indiqué utiliser près de 700 m<sup>3</sup> d'eau à l'année pour la distillation de ses 215 ha de PPAM, avec une consommation d'environ 300 litres d'eau pour distiller 1 ha de lavandin (Agriculteur du plateau ayant sa propre distillerie, communication personnelle). Chaque cultivateur de PPAM prend en charge sa propre distillation de plants et celle-ci doit se faire rapidement après la récolte. La multiplication des petites distilleries locales permet alors une bien plus grande souplesse d'organisation du travail pour les agriculteurs. En effet, dans les grandes distilleries, les temps de trajet sont longs et des ordres de passage d'agriculteurs doivent être établis, ce qui peut être contraignant en cas d'imprévus (pannes, etc...). Cela se rajoute alors à l'organisation qui doit se faire pour le prêt de matériel en CUMA, comme l'ensileuse par exemple. La mise en place du réseau d'irrigation SCP a donc eu un impact indirect positif sur l'organisation du temps de travail des agriculteurs par la création de ces distilleries de proximité.

## **II.4.2 Différences de structure des exploitations (type Lavandin-Céréales)**

L'arrivée de l'irrigation sur une exploitation implique donc une modification de l'organisation du travail et une plus grande souplesse. Une comparaison de la structure des exploitations (SAU) et de la disponibilité en main d'œuvre a été effectuée (UTH et UTA), afin de voir si des différences existent entre exploitations irriguées et exploitations au sec (Figure 9) (Annexe 21). Les UTH indiquent le nombre d'actifs (familiaux ici) et les UTA permettent d'estimer le travail effectué en plus par des salariés ou des saisonniers ici, en équivalent temps plein.

### **II.4.2.1 Comparaison des tailles d'exploitations**

Les SAU des exploitations irriguées sont supérieures en moyenne de 100 ha par rapport aux SAU des exploitations au sec. De plus, en irrigation, la plupart des exploitations fonctionnent avec 2 UTH familiaux contre 1 UTH familial en moyenne en sec. Ces résultats soulignent donc que les actuels irrigants du plateau sont en majorité ceux qui ont une surface agricole importante (>150 ha), souvent acquises suite à une reprise d'exploitation familiale, leur permettant d'avoir des revenus suffisants pour financer leur irrigation.

### **II.4.2.2 Comparaison de la main d'œuvre disponible**

De plus, le fait d'être au moins 2 actifs familiaux permet de pouvoir gérer l'importante charge de travail induite par l'irrigation des cultures et permet une plus grande souplesse dans l'organisation du travail (2 types de travaux pouvant être faits en même temps). D'ailleurs, le seul irrigant enquêté avec un seul actif familial sur son exploitation (LCi3) a indiqué qu'il avait réduit l'irrigation à une partie de son

lavandin seulement et qu'il allait revenir aujourd'hui à des rotations plus simples (et donc moins diversifiées), par manque de temps et de main d'œuvre. Enfin, il a été constaté que les irrigants emploient en moyenne plus de main d'œuvre salariale et saisonnière que les agriculteurs au sec, notamment pour la récolte de leur culture (lavandin, pommes), comme indiqué dans la Figure 9. La rentabilité de l'exploitation doit donc être suffisante pour pouvoir embaucher ponctuellement de la main d'œuvre saisonnière pour pallier à l'augmentation de la charge de travail à certaines périodes.

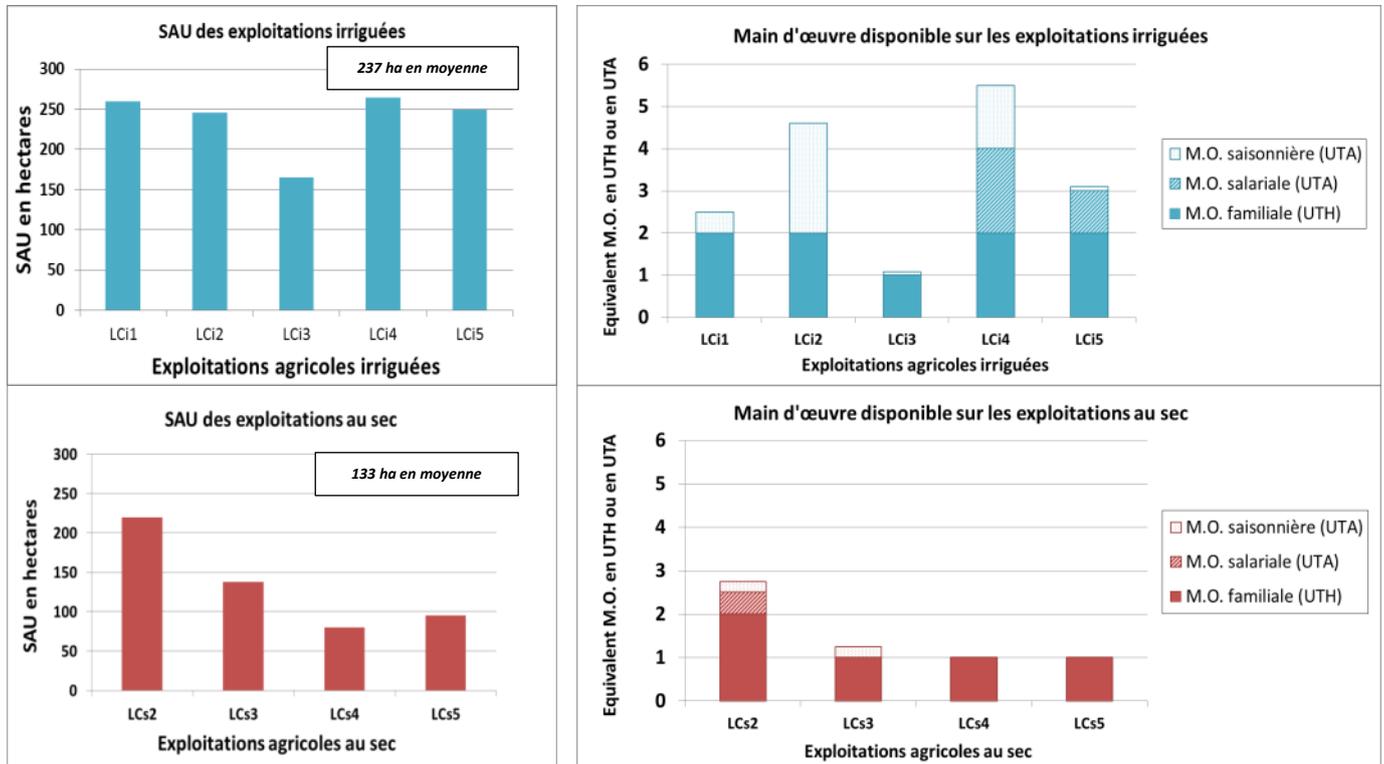


Figure 9: Comparaison des SAU totales et de la main d'œuvre (en UTH et UTA) des exploitations irriguées (en bleu) et au sec (en rouge)

### II.4.3 Fonctionnement des exploitations d'élevage

Les trois éleveurs enquêtés ont des organisations très variées, aussi il n'est pas possible de résumer leurs informations par des valeurs moyennes. Cependant, dans chaque cas, l'eau est indispensable au bon fonctionnement des systèmes d'élevage et le manque d'eau impacte directement la production des éleveurs.

**Le premier éleveur** (Ei1) a accès à l'irrigation à proximité de ses parcelles grâce au réseau SCP. Son troupeau est composé de 650 brebis et il vend en moyenne 400 agneaux à l'année (vendus à l'âge de 100 jours), avec un agnelage majoritaire en janvier et un agnelage complémentaire en avril. Sa bergerie dispose en plus d'une source d'eau issue de la commune, lui servant alors à abreuver ses brebis l'hiver (janvier à février). En effet, une brebis allaitante a besoin de 2,5 à 4 litres d'eau par jour (Institut de l'élevage, 2012). Avec l'irrigation, il peut irriguer une partie de ses cultures fourragères et prairies semées, sur lesquelles viennent pâturer ses brebis au printemps, ce qui lui permet d'avoir une **ressource en fourrage suffisante même en cas de sécheresse**. Il peut également vendre une grande partie de son fourrage à d'autres éleveurs (ray-grass et luzerne), ce qui lui assure un revenu supplémentaire. Cela lui évite de devoir déplacer ses brebis loin de son exploitation pour les nourrir et de devoir financer le travail d'un berger pour surveiller son troupeau. L'irrigation lui permet également **d'abreuver facilement son troupeau sur les pâturages** situés à proximité de bornes. Selon lui, l'irrigation lui est aujourd'hui indispensable pour maintenir son activité.

**Le deuxième éleveur** irrigant (Ei2) n'a pas accès au réseau SCP: il a une réserve d'eau grâce à une retenue collinaire personnelle, mais il manque d'eau pour la gestion de son système. Il explique

notamment avoir dû **réduire la taille de son troupeau progressivement à cause de la sécheresse** ces dernières années, passant de 500 brebis en 2009 à 200 brebis en 2017. Il a également **réduit le nombre d'agnelage** par an récemment, ne faisant qu'un seul agnelage en mars. Il vend environ 180 agneaux par an, âgés de 60 jours seulement : les agneaux doivent partir à l'engraissement ailleurs, car l'éleveur n'a pas assez de ressources fourragères pour réaliser l'engraissement lui-même. Les brebis sont en pâture d'avril à juin sur ses parcelles, puis d'octobre à mi-janvier, et l'exploitant arrive encore parfois à vendre une partie de son fourrage à d'autres éleveurs locaux. Il souhaite cependant augmenter sa ressource en eau avec le nouveau réseau d'irrigation de la SCP.

**Le troisième éleveur** enquêté (Es1) a un système au sec sur le plateau, mais il dispose de nombreuses autres parcelles à l'irrigation dans d'autres départements voisins. Il a environ 2800 brebis sur les différents départements, qu'il déplace régulièrement en différents troupeaux. Il explique avoir une production d'agneaux en dé-saisonné (certifiés Label rouge), c'est-à-dire en dehors des pics de production. Il fait donc **3 agnelages en 2 ans** (en mars, septembre et décembre), avec environ 3000 agneaux vendus à l'année, âgés de 80 jours. Ses terres au sec lui permettent la production de céréales, qui sont ensuite transformées en ration équilibrées grâce à un partenariat avec une entreprise locale. Ses cultures fourragères au sec servent en outre à la pâture de ses troupeaux et à la **constitution de ressources en foin, qu'il complète grâce à ses cultures irriguées venant d'autres départements**. Ses cultures fourragères irriguées lui permettent en plus de vendre une grande partie de sa production à d'autres éleveurs du plateau. Ainsi, bien qu'une partie de ses terres soient au sec sur le plateau de Valensole, il précise que tout son système dépend de l'irrigation de ses autres terres agricoles. En hiver, le troupeau présent dans sa bergerie sur le plateau **consomme jusqu'à 4000 litres d'eau par jour**, issus d'une ressource d'eau de la ville (5 à 10 litres d'eau par brebis). Enfin, cet éleveur a également indiqué être intéressé par le projet d'extension du réseau d'irrigation SCP, car cela lui permettrait de faire face à la sécheresse du plateau pour ses cultures, et cela faciliterait également l'abreuvement de ses brebis sur ses parcelles, qui se fait actuellement par déplacements réguliers de citernes d'eau depuis des sources d'eau communales.

## ***II.5 Comment l'arrivée de l'irrigation pourrait faire changer les pratiques ?***

### ***II.5.1 Diversification des cultures***

**Systèmes type Arboriculture et Elevage** : Sur l'ensemble des exploitants enquêtés, beaucoup ont déjà des charges de travail importantes ne leur permettant pas de diversifier davantage leurs assolements. Seules les exploitations d'élevage irriguées Ei1 et Ei2 souhaiteraient introduire à moyen terme de nouvelles cultures fourragères ou de l'immortelle avec l'irrigation.

**Systèmes type Lavandin-Céréales** : L'accès à l'irrigation est la condition citée par les exploitants au sec du plateau qui souhaitent tous diversifier leurs assolements avec **de nouvelles PPAM irriguées** (en partie au moins) comme **l'immortelle, la menthe poivrée ou encore la coriandre** (Tableau 8). Ce résultat est concordant avec l'orientation que prend depuis quelques années la principale coopérative de vente d'huiles essentielles sur le plateau, la SCA3P, qui s'ouvre aux marchés internationaux et qui souhaite proposer de nouvelles huiles essentielles de PPAM pour combler les déficits mondiaux de production de certaines huiles essentielles (Président de la SCA3P, communication personnelle). Pour les exploitations déjà irriguées cependant, peu d'agriculteurs souhaitent encore diversifier en PPAM, notamment à cause de l'importante charge de travail des exploitants qui ont souvent déjà diversifié leurs assolements depuis quelques années. De plus, 3 exploitations au sec sur 4 souhaitent introduire **du chanvre** à moyen terme avec l'arrivée de l'irrigation : cette culture aurait un bon effet précédent dans les rotations sur les céréales à paille d'après les agriculteurs. Concernant la diversification en légumineuse, une seule exploitation au sec souhaiterait introduire **du pois** à l'avenir grâce à l'irrigation. De même pour les exploitations déjà irriguées, 1 lavandiculteur sur 5 souhaite introduire **du pois protéagineux et des lentilles** à l'avenir. Cependant, l'irrigation n'est pas la seule condition mentionnée pour diversifier en légumineuses. En effet, les agriculteurs du plateau ont insisté sur le fait **qu'un meilleur développement de la filière légumineuse devait avoir lieu pour qu'ils concrétisent cette diversification**, afin que ces cultures soient rentables pour eux. En outre, les **problèmes de sangliers** ont à nouveau été soulevés en ce qui concerne les cultures

de pois et de pois-chiche : les sangliers détruisent régulièrement les parcelles comportant ces cultures lors de leur passage. De plus, le sainfoin devient plus rare dans les rotations, car la culture (vendue aux éleveurs) devient moins rentable. Ainsi, **malgré l'intérêt que portent les agriculteurs sur les avantages agro-écologiques de ces cultures**, la filière des légumineuses, encore trop peu développée sur le plateau, est un frein majeur à leur introduction dans les rotations-cadres. Enfin, aucun agriculteur ne souhaite augmenter ses surfaces **de lavandin et de blé dur** à l'avenir, même avec l'arrivée de l'irrigation (Annexe 22). Au contraire, ces derniers expliquent que l'irrigation leur permet/leur permettrait d'assurer des rendements satisfaisants sur leurs parcelles existantes, en irrigant une partie de leur lavandin, et que cela permet/permettrait donc d'augmenter les performances de la culture et les revenus sans augmentation de surface. Pour le blé dur, la grande majorité des agriculteurs toutes catégories confondues prévoit une diminution des surfaces, à cause des faibles prix de vente à l'échelle mondiale.

**Tableau 6: Résumé des diversifications envisagées par les exploitations Lavandin-Céréales**

	Diversification envisagée	<u>LC SEC:</u> Nb d'exploitations concernées/Nb d'exploitations totales	<u>LC IRRIGUE:</u> Nb d'exploitations concernées/Nb d'exploitations totales
PPAM	Immortelle	2/4	1/5
	Menthe Poivrée	2/4	/
	Coriandre	2/4	/
	Estragon	1/4	/
	Sauge	1/4	/
Légumineuses	Pois	1/4	1/5
	Lentille	/	1/5
Autres	Chanvre	3/4	/

## II.5.2 Infrastructures agro-environnementales, Intercultures et Semis-direct

**Haies:** Parmi les pratiques durables qui pourraient être induites ou amplifiées par l'irrigation, on peut citer l'implantation de certaines infra-structures agro-environnementales comme les haies. En effet, deux études réalisées sur le plateau de Valensole (Garbet, 2015 et Charreyron, 2016) ont montré les différents avantages agro-environnementaux des implantations de haies sur les exploitations. Un projet d'implantation de haies impliquant plusieurs agriculteurs du plateau a notamment été mis en place en 2016 (Charreyron, 2016). L'étude a montré que l'accès à l'irrigation était un grand avantage pour les exploitations souhaitant prendre part au projet, car de nombreuses essences d'arbres intéressantes pour les agriculteurs ont besoin d'eau au moins les deux premières années suivant leur implantation. Néanmoins, l'Annexe 22 indique qu'actuellement, seuls quelques agriculteurs parmi l'échantillon enquêté sont intéressés par ce type de programme, les autres mettant en avant les contraintes techniques induites par les haies (tailles régulières, gêne pour les passages d'engins, etc...). Cependant, il est possible qu'à l'avenir cette pratique se développe suite à la mise en place d'animations et de sensibilisation à l'échelle du territoire par le PNRV notamment.

**Intercultures et Semis-direct:** La mise en place de plantes de couvertures dans les intercultures des rotations et la pratique du semis-direct sont également des modifications envisagées par les agriculteurs à courts ou moyens terme avec l'arrivée de l'irrigation. Ainsi, bien que la mise en place de plantes de couverture pendant les intercultures, comme des CIPAN (cultures intermédiaires piège à nitrate), soient obligatoires avec la directive nitrate dans certaines conditions (DDT Vaucluse, 2014), cette pratique est encore peu courante sur le plateau. En effet, de nombreux agriculteurs évoquent le manque d'eau de la fin de l'été et du début de l'automne qui empêche le développement des couverts végétaux. L'arrivée de l'irrigation pourrait donc permettre un meilleur développement de ces couverts, après l'arrachage du lavandin et avant la culture suivante de la rotation, ce qui limiterait le risque d'érosion et de lixiviation des nitrates. En outre, de nombreux agriculteurs, au sec ou à l'irrigation, commencent à pratiquer le semis-direct (souvent sur des céréales qui suivent une légumineuse). Le semis-direct permet en effet d'éviter un travail du sol profond (labour), qui pourrait avoir des conséquences néfastes sur la dynamique de la matière organique et la qualité des sols. Certains agriculteurs indiquent que l'irrigation permet un meilleur

développement des couverts issus de cette technique. L'arrivée de l'irrigation pourrait donc inciter au développement du semis direct, ce qui serait favorable pour l'amélioration de la structure des sols et pour la pérennité de certains processus écologiques (mycorhization, meilleure structure du sol, etc...). Cependant, cette technique implique l'utilisation d'un herbicide total (en général le glyphosate) pour remplacer l'effet désherbant du labour, ce qui pourrait donc à contrario augmenter le risque de pollution des nappes. En effet, l'utilisation du glyphosate représente un risque d'accumulation de cette molécule dans les sols et une accumulation d'un des métabolites de sa dégradation dans les nappes phréatiques en cas de lixiviation : la molécule AMPA (Acide amino méthyl phosphonique). Les études de la toxicité de ces deux molécules ne sont pas encore claires aujourd'hui et davantage d'analyses seront nécessaires pour éclaircir la question de leur impact agro-environnemental.

### *II.5.3 Evolution de la charge de travail et de la main d'œuvre*

Les modifications en termes de main d'œuvre et de temps de travail auxquelles les agriculteurs du plateau aspirent à l'avenir sont présentées en Annexe 23. Alors que la plupart des exploitations à l'irrigation en *Lavandin-Céréales* et *Elevage* souhaitent maintenir, voire diminuer la charge de travail globale de l'exploitation, sans employer de main d'œuvre supplémentaire, les exploitations au sec ont majoritairement pour projet d'embaucher de la main d'œuvre à court ou moyen terme si l'irrigation leur devient accessible. D'ailleurs, 3 exploitations de type *LC* sur 4 se disent prêtes à augmenter la charge de travail de l'exploitation avec l'arrivée du réseau SCP. Ce constat serait donc cohérent avec l'augmentation de la charge de travail due à l'irrigation des cultures qui a été discutée plus haut dans ce mémoire, et cela montre que la plupart des agriculteurs au sec actuellement sont conscients des moyens supplémentaires qui devront être mis en œuvre s'ils irriguent un jour leurs cultures. En cas de ressources financières suffisantes sur l'exploitation, l'arrivée de l'irrigation pourrait ainsi permettre la création d'emplois agricoles supplémentaires.

## *II.6 Rapport d'étonnement suite aux enquêtes terrain*

Après discussion avec les agriculteurs, d'autres éléments non quantifiables ont pu ressortir de cette étude. Ces derniers sont décrits dans ce chapitre, sous forme de rapport d'étonnement.

***Fertilisation et précipitations*** : Les agriculteurs au sec essaient de positionner la fertilisation de leurs parcelles juste avant l'arrivée de pluies ou d'orages, afin de permettre une meilleure action de l'engrais par humidification du sol et donc une meilleure absorption par les cultures. Cependant, les quantités d'eau issues des pluies ne sont pas maîtrisables par l'agriculteur, et il y a donc un risque important de lixiviation de l'azote jusque dans les nappes en cas de précipitations importantes, mais également de ruissellement en cas de sol très sec. L'accès à une irrigation contrôlée pourrait permettre un meilleur contrôle des quantités d'eau apportées juste avant ou après une fertilisation et réduirait ainsi le risque de lessivage, tout en permettant une meilleure assimilation par la plante.

***Intérêt des agriculteurs pour l'irrigation*** : Une des choses assez frappantes qui est ressortie des enquêtes est la forte volonté des exploitants au sec d'avoir un accès à l'irrigation le plus rapidement possible. Certains d'entre eux, qui ne sont pas desservis par le réseau SCP, ont même improvisé des systèmes de récupération d'eau de pluie dans des citernes, qu'ils transportent ensuite une à une en tracteur sur chaque parcelle pour sauver certaines cultures, ce qui représente une charge de travail colossale. De plus, face au changement climatique et à l'évolution du contexte économique, de nombreux agriculteurs sont **prêts à essayer de nouvelles cultures, notamment grâce à l'irrigation**. En outre, la plupart d'entre eux sont curieux quant à l'amélioration du pilotage de l'irrigation et **ils souhaiteraient la mise en place d'expérimentations et de journées techniques**, réunissant agriculteurs irrigants et au sec, conseillers de divers institutions, etc... pour pouvoir échanger sur ce thème. D'autre part, un aspect non suspecté, lié à **l'implication des agriculteurs sur leurs parcelles irriguées a été révélé**. Ainsi, plusieurs agriculteurs ont indiqué qu'ils étaient plus impliqués pour tester de nouvelles pratiques durables sur leurs parcelles irriguées par rapport à leurs parcelles au sec. En effet, ils expliquent que l'irrigation leur permet de pallier aux aléas climatiques et donc que tous les efforts techniques qu'ils peuvent faire depuis l'implantation de leurs cultures ne risquent pas d'être réduits ou anéantis par la sécheresse. Si elle est bien encadrée techniquement, l'irrigation pourrait donc servir de moteur au développement de nouvelles pratiques durables sur le plateau.

## III. Chapitre 3 - Axe Sol

### III.1 Problématique, méthodologie et prise en compte du projet COMETE

#### III.1.1 Méthodologie générale : le sol, compartiment complexe mais fondamental

Le sol est un des compartiments les plus importants des agrosystèmes et est un des piliers de l'agro-écologie. Son fonctionnement est complexe et de très nombreux facteurs agronomiques et environnementaux peuvent l'influencer. Nous focalisons ici l'analyse sur les impacts que peut avoir l'irrigation sur le fonctionnement du sol. Pour cela, une étude bibliographique a été faite pour mieux comprendre sur quels processus l'eau pouvait jouer, au vu des connaissances actuelles. Puis, afin de voir l'impact des systèmes de culture (irrigués ou secs) pratiqués sur le plateau sur les risques de lixiviations d'azote, des bilans apparents d'azote et d'eau ont été réalisées. Ces bilans apparents, calculés à partir des informations recueillies lors des enquêtes (itinéraires techniques des cultures), ne sont qu'une première analyse et n'ont pas vocation à servir de recommandations pour les agriculteurs, car ils ne tiennent pas compte des mécanismes internes du système sol-plante. Cependant, ils permettront de voir si l'irrigation pourrait être un levier ou un frein au développement de rotations culturales réduisant le risque d'accumulation d'azote dans les sols et dans l'eau.

#### III.1.2 La vulnérabilité des sols du plateau face au transfert de polluants

En 2013, afin de mieux connaître la vulnérabilité des sols et des nappes du plateau de Valensole face aux problèmes de pollution (nitrate et produits phytosanitaires), une étude a été menée par le Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM) et la SCP pour le compte de l'Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse. Cette étude de deux ans s'intitule Compréhension des Mécanismes de Transfert des Produits phytosanitaires au sein de la masse d'eau des conglomérats du plateau de Valensole (projet COMETE). Grâce à la prise en compte de paramètres pédologiques (texture du sol, matière organique, battance), topographiques (pente, occupation du sol), agronomiques (assolements de 2012 et itinéraires culturaux moyens) et biochimiques (persistance et dangerosité des matières actives de produits phytosanitaires), des cartes de risques de pollutions des sols par infiltration ou ruissellement ont été réalisées. Il en ressort plusieurs constatations (Bailly-Compte *et al.*, 2016) :

- Les eaux qui drainent le plateau sont des eaux anciennes (**10 ans +/- 5 ans**), pouvant transporter des substances présentes depuis plusieurs années dans les sols (d'où les traces de contaminations anciennes par certains produits phytosanitaires).
- Ce sont majoritairement **les substances actives des herbicides** qui ont été retrouvées en forte quantité dans les eaux et les sols du plateau, dont l'atrazine et la molécule BAM (2.6-dichlorobenzamide), métabolite du dichlobénil, herbicide retiré de la vente en 2003.
- La pression polluante (comprenant la dangerosité des substances actives) est la plus forte sur lavandin, suivi de la sauge, du fenouil et enfin du blé dur.
- **58% des parcelles cultivées du plateau sont classées en risque d'infiltration fort** contre 9% classées en risque d'infiltration faible par rapport aux polluants.
- Les **teneurs en nitrate** des 6 captages prioritaires du sud du plateau **varient de 30 à parfois plus de 50 mg/l** et dépassent donc parfois la limite de potabilité définie par la Directive européenne 98/83/CE (seuil de potabilité : < 50 mg/l de nitrates)

Les caractéristiques des sols et leur vulnérabilité aux transferts de polluants ne pouvant pas être modifiées facilement et à court terme, plusieurs actions ont été proposées pour améliorer les pratiques agricoles, dans le but de limiter les pressions polluantes sur le plateau. Plusieurs préconisations avaient été faites dans l'étude « Projet COMETE », comme la réduction des traitements phytosanitaires, les couverts d'inter-rang comme barrière aux ravageurs, l'alternance des molécules utilisées, la mise en place de couverts d'interculture à l'automne, etc... Parmi ces recommandations, l'allongement des rotations culturales et l'augmentation du temps de retour des cultures ont également été évoquées. Mais il restait à analyser si les rotations permises par l'irrigation pourraient avoir un impact positif sur la qualité des sols et des eaux.

## III.2 Impacts de l'eau sur les processus de fonctionnement du sol

Avant de pouvoir déterminer si l'irrigation a un impact positif ou négatif sur la qualité des sols et des nappes du plateau, il est important de savoir sur quels processus de fonctionnement des sols cultivés l'eau peut jouer. Pour cela, nous avons réalisé une étude bibliographique sur les connaissances actuelles de l'influence de l'eau sur ces différents processus, dont les principaux ont été synthétisés sous forme de modèle de culture, comme le modèle STICS, créée par l'INRA (Brisson *et al.*, 2003). Pour simplifier la question, nous avons représenté le fonctionnement du sol à travers les cycles de l'eau, de l'azote et de la matière organique, dont les bilans complets sont présentés en Annexe 24.

**Impacts sur le bilan hydrique** : Les apports d'eau par les précipitations et par l'irrigation sont tout d'abord les **principales entrées du bilan hydrique** du sol. Ces apports constituent donc des facteurs influençant directement le bilan, mais ils peuvent également l'influencer indirectement en modulant les autres termes. Des apports d'eau dans le sol (ex : irrigation) peuvent ainsi influencer positivement le développement de la culture, sa croissance racinaire (Alm *et al.*, 1993) et sa croissance aérienne (Bradford *et al.*, 1982). Une culture avec un fort développement aérien aura alors tendance à **transpirer davantage d'eau** (augmentation des sorties du bilan), mais une forte densité végétale pourra également **réduire l'évaporation du sol** en modifiant le microclimat du système (réduction des sorties du bilan). En ce qui concerne la réserve d'eau du sol, la quantité et la fréquence des apports d'eau, en interaction avec la texture, la structure du sol et le taux de matières organiques, peuvent jouer sur le remplissage ou la sortie d'eau du sol, en particulier sur **l'infiltration et le ruissellement**. L'infiltration est un phénomène qui a lieu lorsqu'un horizon de sol cultivé reçoit des apports d'eau supérieurs à sa capacité au champ (Brisson *et al.*, 1998). Le surplus d'eau passe alors dans l'horizon de sol inférieur, si celui-ci n'est pas saturé en eau et le processus continue jusqu'à arriver à un horizon profond non saturé en eau. Au contraire, le ruissellement de l'eau a lieu lorsque le sol reçoit plus d'eau qu'il n'est capable d'en infiltrer, soit à cause d'une saturation en eau des horizons (ruissellement sur sol saturé), soit à cause d'une couche imperméable sur un horizon supérieur (ruissellement hortonien) (Bailly-Compte *et al.*, 2016). En fonction de son intensité, un apport d'eau contribue plus ou moins fortement au remplissage de la réserve utile d'un sol.

**Impacts sur le bilan azoté et le bilan de matière organique (MO)** : La décomposition des résidus de culture et la minéralisation de l'azote dans le sol dépendent de nombreux facteurs, mais l'état hydrique du sol est un de ceux qui influent le plus sur ces processus, avec la température du sol. Concernant le **taux de décomposition des résidus de culture**, de nombreuses études ont montré qu'un manque d'eau pouvait ralentir le processus (Rodrigo *et al.*, 1997). Dans le modèle STICS, un facteur de correction lié à l'état hydrique du sol (FH) est d'ailleurs appliqué à l'équation déterminant le taux de décomposition des résidus, diminuant ce taux lorsque la teneur en eau du sol s'écarte de sa capacité au champ (Brisson *et al.*, 1998). Des apports d'eau peuvent donc **augmenter la quantité d'humus produite** sur une parcelle, augmentant ainsi le stock de matière organique (entrées du bilan de MO). De même, la **vitesse de minéralisation de l'humus** a tendance à augmenter avec une humidité du sol proche de la capacité au champ et aux alentours de -0,01 à -0,05 MPa (Rodrigo *et al.*, 1997). L'augmentation de cette minéralisation constitue une entrée du bilan d'azote et une sortie du bilan de matière organique. Cependant, il est également à noter que lorsque l'eau se rapproche du seuil de saturation du sol, le processus de dénitrification de l'azote (qui apparaît en condition anaérobie) augmente au détriment du processus de nitrification (aérobie) (Rodrigo *et al.*, 1997) : les sorties du bilan d'azote croissent. Enfin, **l'humidité du sol joue un rôle dans la disponibilité de l'azote issu des fertilisants** appliqués par les agriculteurs. Ainsi, en sol sec, l'azote minéral (nitrate et ammonium) apporté à la parcelle peut-être difficilement accessible à la culture, puisque ce dernier aura du mal à pénétrer dans le sol vers les racines et à se mélanger à la solution du sol (Bérard *et al.*, 2015). Un apport d'eau adéquate peut alors augmenter l'efficacité d'utilisation des fertilisants par la culture. A l'inverse cependant, un apport d'eau trop important, positionné juste après une fertilisation, risque de provoquer la perte d'azote minéral par ruissellement ou par lixiviation (l'azote minéral étant emporté en solution dans l'eau de drainage).

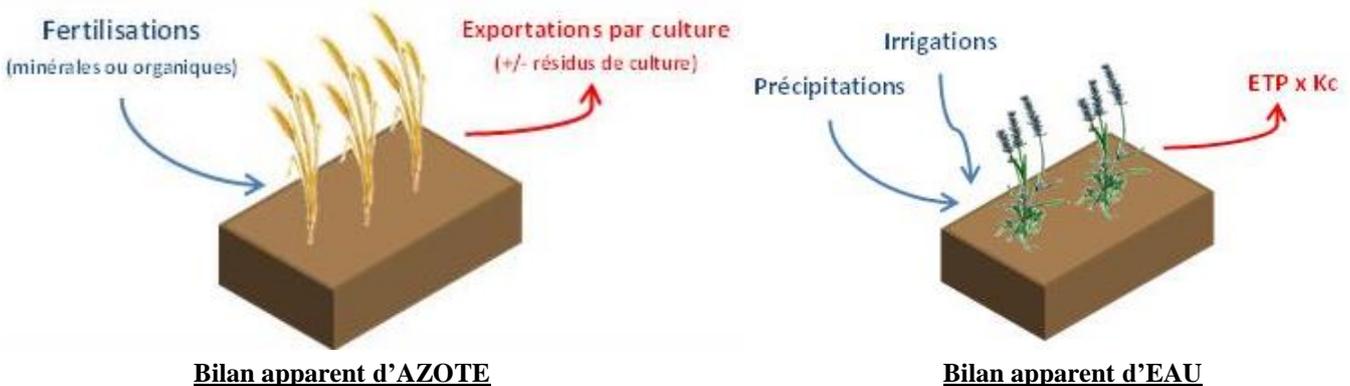
Les trois bilans étudiés ici (matière organique, eau et azote) ne sont pas les seuls processus régnant dans le sol. Ainsi, le cycle du phosphore ou du potassium par exemple n'ont pas été étudiés ici par soucis de simplification pour l'étude, mais ils sont également déterminants (pour la croissance des plantes et les

processus du sol). En outre, le fonctionnement biologique des sols n'a pas été discuté ici directement (une étude bibliographique à ce sujet sera proposée dans le troisième chapitre de ce mémoire). Malgré tout, ces premiers éléments sur les cycles d'azote, de matière organique et d'eau mettent en évidence la complexité des effets connus actuellement de l'eau sur le fonctionnement du sol. Il a notamment été montré que **la quantité d'eau et la fréquence des apports d'eau** sont deux paramètres importants à prendre en compte, car leurs variations entraînent des effets parfois opposés sur les dynamiques des processus du sol. **Les deux schémas fonctionnels présentés en Annexe 25 résumant les principales influences de l'eau** suite à cette étude, sur les termes des bilans hydrique, azoté et de matière organique. Ces schémas ont ensuite été simplifiés pour se concentrer sur les flux les plus importants du cycle de l'azote et de l'eau, pouvant être approchés par les données issues des enquêtes terrain, en se basant sur les principales entrées et sorties de ces bilans (Figure 10).

### III.3 Estimation des bilans apparents d'azote et d'eau

#### III.3.1 Méthode des bilans apparents d'azote et d'eau

L'analyse précise de l'impact de l'irrigation sur les différents termes des bilans de fonctionnement du sol n'était pas possible, car cela aurait impliqué de nombreuses mesures dans les conditions locales pour paramétrer un modèle comme STICS. Cependant, les données récoltées lors des enquêtes permettent d'estimer des bilans simplifiés en azote et en eau, basés sur la **comparaison des principales entrées et sorties dans le système**. Ces bilans sont appelés des **bilans apparents**. Négligeant de nombreux processus du fonctionnement du sol, ces derniers sont tout de même utiles, car ils permettent de comparer des cultures et des systèmes entre eux en termes de pression polluante en azote et de consommation d'eau. De plus, la modélisation des différents termes des bilans azotés et hydriques, via le modèle STICS, a montré dans plusieurs études que les flux négligés dans les bilans apparents étaient souvent d'un ordre de grandeur plus faible que les flux pris en compte (Jégo *et al.*, 2012). Pour chaque rotation-cadre étudiée, les bilans apparents ont été calculés dans un premier temps pour chaque culture, à l'année. Puis, en multipliant chaque bilan cultural par le nombre d'années où la culture est en place dans la rotation, les bilans ont pu être faits à l'échelle de la rotation complète. Les méthodes de ces deux bilans apparents sont résumées en Figure 10.



**Figure 10: Résumé des méthodes de calcul des bilans apparents**  
(Les flèches bleues représentent les entrées et les flèches rouges les sorties)

##### III.3.1.1 Méthodologie des bilans apparents en azote

**Les sorties du bilan d'azote:** Pour chaque culture, les exportations d'azote dues à la récolte ont été calculées. Pour cela, les rendements des cultures ont été convertis en rendement en masse sèche (références décrites en Annexe 26), puis multipliés par les teneurs en azote des cultures (références bibliographiques ou données issues de spécialistes (Annexe 26)). Les résidus de culture, lorsqu'ils sont restitués au sol, ne sont pas comptés dans les sorties. Les quantités d'azote exportées à la récolte par les PPAM autres que le lavandin ne sont cependant pas connues : une approximation a donc été faite en leur attribuant le taux d'exportation du lavandin (en kg d'azote exporté par unité de rendement). Pour les

légumineuses, le taux d'azote exporté provenant du sol (et non de l'azote atmosphérique) peut varier de 20 à 90% selon les conditions. Cependant, il a été fixé que celui-ci était de 50% pour les légumineuses du plateau, au vu des conditions plutôt sèches des sols qui défavorisent la fixation d'azote (Wery, communication personnelle).

**Les entrées du bilan d'azote :** Les entrées par fertilisations (minérales ou organiques) ont été calculées grâce aux données d'enquête, puis converties en kg d'azote disponible/ha, grâce à la composition et aux caractéristiques des produits appliqués. Pour les fertilisations organiques, c'est bien l'azote en équivalent azote chimique libéré sur un an qui a été pris en compte (azote disponible), en considérant le coefficient d'équivalence  $K_{eq}$  des produits organiques.

### ***III.3.1.2 Méthodologie des bilans apparents en eau***

**Les sorties du bilan hydrique :** Les sorties sont la transpiration des cultures et l'évaporation de l'eau du sol, dont on estime la somme à partir de l'évapotranspiration potentielle ETP (qui dépend du climat) multipliée par le coefficient cultural ( $K_c$ ). Les ETP utilisés proviennent d'une station météorologique située à Valensole pour un ancien projet de la SCP et qui a enregistré les ETP journaliers de 1999 à 2009. Cela a permis de calculer un cumul d'ETP moyen par année en mm (moyenne sur 10 ans). La plupart des coefficients culturaux ont été trouvés dans la bibliographie. Les bilans hydriques sont réalisés à l'année pour chaque culture. Des coefficients  $K_c$  moyens sur ce cycle annuel ont donc été calculés et utilisés (détails en Annexe 27). Cependant, ces coefficients  $K_c$  sont inconnus pour certaines cultures comme les PPAM. Une approximation a été faite, en se basant sur des travaux expérimentaux faits sur lavandin par la SCP (Steve AUBRY, 2017), grâce à l'analyse de données satellite Sentinel-2 (Annexe 27). Ces estimations de  $K_c$  ont été attribuées par défaut aux autres PPAM dont les valeurs de  $K_c$  sont inconnues. La différence entre les entrées et les sorties représente donc la lame d'eau potentiellement drainante à la fin des cultures ou à la fin de la rotation complète.

**Les entrées du bilan hydrique :** Les entrées prises en compte ici sont les précipitations et les irrigations. Les précipitations utilisées proviennent de la même station météo que celle ayant fourni les valeurs d'ETP (données journalières de 1999 à 2009). Le cumul de précipitation moyen sur 10 ans a ainsi été calculé pour être utilisé dans les bilans. Les irrigations quant à elles ont été renseignées grâce aux dires d'agriculteurs, par culture, pour chaque système de culture enquêté, en faisant la somme des quantités d'eau apportées chaque mois pour avoir un cumul d'eau issu de l'irrigation à l'année.

## ***III.3.2 Résultats et discussions pour les bilans apparents***

### ***III.3.2.1 Bilans apparents à l'échelle des cultures***

#### ***a) Blé dur, lavandin et légumineuses***

Les résultats des bilans se focalisent pour commencer sur les cultures les plus fréquentes dans les rotations : le blé dur, le lavandin, le pois et le sainfoin (Figure 11). Les valeurs présentées dans ces graphes sont les bilans apparents (valeurs médianes, maximales et minimales) de chaque culture (au sec ou avec irrigation) pour un an de culture. Un bilan positif correspond à un excédent d'azote dans le sol (pour le bilan apparent d'azote) ou à une lame d'eau résiduelle potentiellement drainante (pour le bilan apparent d'eau).

**Le blé dur** est la seule de ces cultures à avoir un bilan apparent d'azote positif, que ce soit au sec ou irrigué. Les valeurs médianes sont d'ailleurs très proches entre blé dur sec et blé dur irrigué (75 contre 80 kg d'N/ha). Les augmentations de fertilisation sur blé dur irrigué (entrées du bilan) sont donc compensées par les rendements plus élevés (sorties par exportations), pour s'approcher des valeurs de bilan observées en système sec. La variabilité des bilans azotés est plus grande en blé dur sec qu'en blé dur irrigué, car le nombre de rotation avec blé dur sec (8 rotations) est supérieur à celles comportant du blé dur irrigué (3 rotations).

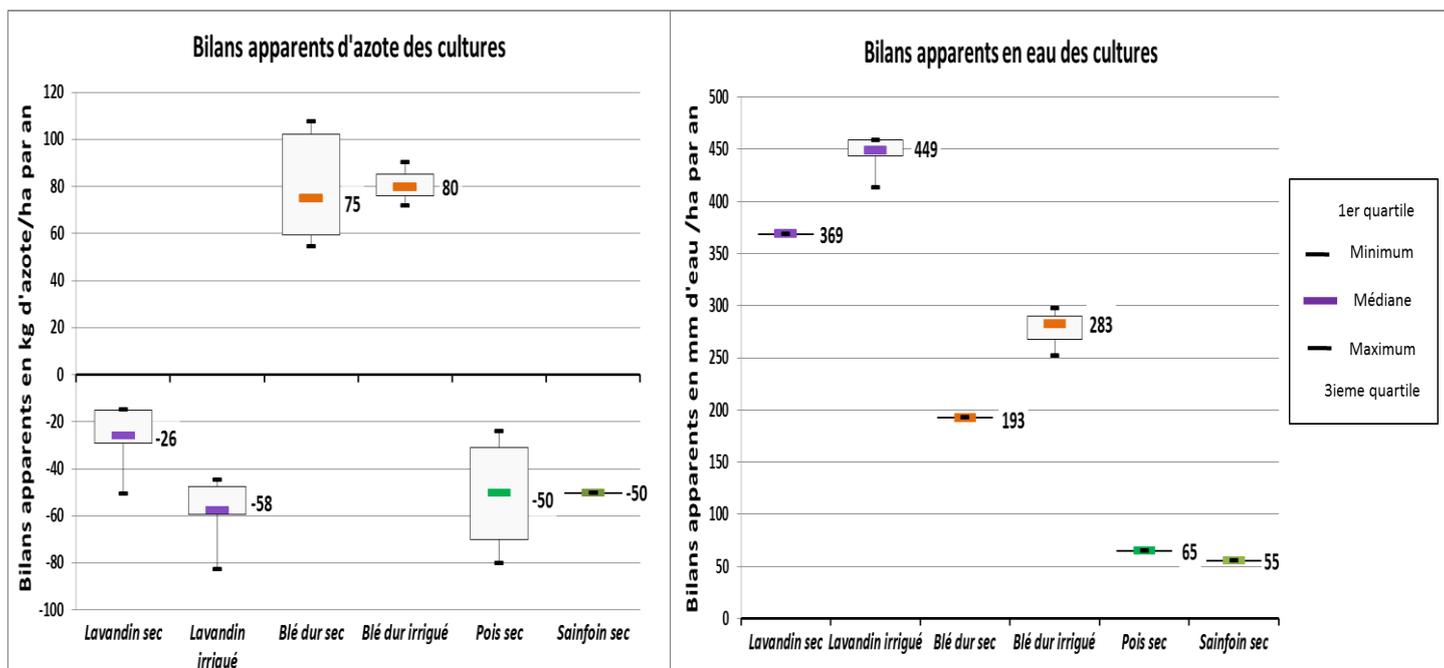


Figure 11: Résumés des bilans apparents en azote et en eau pour les cultures les plus présentes dans les rotations-cadres (valeurs médianes, minimums et maximums par an pour chaque culture issues des rotations étudiées)

Pour le bilan apparent en eau, le blé dur irrigué possède une lame d'eau potentiellement drainante plus élevée que le blé dur sec (90 mm d'eau de différence environ). En termes de pollution des nappes par lixiviation, il y a donc un risque un peu plus important en blé dur irrigué, si l'eau en surplus est présente après une fertilisation et s'infiltrerait rapidement. Il peut également y avoir risque de ruissellement en cas de sol saturé ou de couche superficielle du sol imperméable (croûte de battance par exemple). A titre indicatif, en considérant que 50% de l'azote résiduel est du nitrate lixiviable, et en rapportant l'excès d'azote résiduel à la lame d'eau potentiellement drainante, on arrive à un flux annuel théorique de 95 mg d' $\text{NO}_3^-/\text{l}$  en blé dur sec et 68 mg d' $\text{NO}_3^-/\text{l}$  en blé dur irrigué (Annexe 28). L'irrigation du blé dur pourrait donc permettre de diminuer la pression de pollution en nitrate dans les eaux. En comparaison avec le seuil de potabilité de l'eau (50 mg d' $\text{NO}_3^-/\text{l}$  sur plusieurs années consécutives), ces bilans apparents indiquent qu'il serait intéressant d'approfondir les recherches à ce sujet et à pas de temps journalier, pour estimer plus précisément les risques de lixiviation d'azote ponctuels dus aux pratiques culturales.

**Pour le lavandin** cependant, le bilan apparent d'azote est plus faible en lavandin irrigué qu'en lavandin sec (32 kg d'N/ha en moins en irrigation). Cela s'explique par les itinéraires techniques très proches entre absence ou présence d'irrigation sur la culture, pour des rendements qui sont augmentés avec irrigation. Ainsi, la lame d'eau drainante supérieure en lavandin irrigué (449 mm contre 369 mm en sec) n'augmente pas le risque de lixiviation d'azote par rapport au lavandin sec. Enfin, **le sainfoin et le pois** sont les cultures qui présentent le moins de risque de pollution d'azote dans le sol et les nappes du point de vue des bilans apparents. En effet, ces légumineuses aux bilans d'azote très bas (- 50 kg d'N/ha) sont également celles qui ont la lame d'eau résiduelle la plus faible (55 ou 65 mm d'eau). Ces légumineuses présentent l'avantage de ne pas être fertilisées en azote par les agriculteurs, puisqu'elles peuvent puiser leur azote dans l'atmosphère en complément de celui du sol, grâce à leur symbiose avec la bactérie rhizobium. Ces cultures sont donc des atouts intéressants pour les rotations culturales, afin de diminuer la pression polluante azotée, en plus de briser les cycles des ravageurs de cultures. Les quantités d'eau résiduelles en fin de culture (notamment celles du pois) sont bien inférieures aux deux cultures précédentes. Actuellement conduites au sec sur le plateau, il faudrait donc vérifier que ces cultures ne souffrent pas d'un manque d'eau en cas de sécheresse prolongée.

### **b) Bilans apparents des autres cultures des rotations**

La Figure 12 positionne les autres cultures rencontrées dans les rotations selon leurs bilans apparents d'azote et d'eau. Le quadrant supérieur droit indique par exemple des bilans d'azote et d'eau importants, tandis que le cadran inférieur gauche indique des bilans d'azote et d'eau faibles. Les bilans des PPAM

(fenouil, sauge, coriandre) ne seront pas discutés dans ces résultats, car les taux d'exportations d'azote et les KC attribués pour les calculs sont ceux du lavandin par défaut, ce qui peut fausser les résultats.

Du point de vue des bilans, **la betterave semence** est la culture qui présente le plus grand risque en termes de lessivage de nitrate, puisqu'elle cumule une lame d'eau en sortie de culture de plus de 850 mm d'eau et un bilan apparent d'azote d'environ 50 kg d'N/ha. **Le ray-grass irrigué**, dont le bilan azoté est proche de celui de la betterave semence, présente quant à lui un bilan apparent d'eau plus faible (175 mm d'eau) : le risque de lessivage d'azote est plus faible que la betterave, mais tout de même présent. De la même manière, les cultures présentant le moins de risque de lessivage des nitrates (hors PPAM) sont la **luzerne irriguée ou au sec** et le **pois chiche sec** avec des bilans d'azote bas et négatifs (< - 50 kg d'N/ha), malgré des bilans en eau positifs (jusqu'à 312 mm d'eau pour la luzerne irriguée). Tout comme le pois et le sainfoin, ces cultures sont des légumineuses qui ne sont pas fertilisées en azote par les agriculteurs, limitant donc la pression polluante en azote sur les nappes. Cela explique les quantités d'azote résiduelles aussi basses en sortie de bilans, qui sont d'ailleurs inférieures en luzerne irriguée qu'en luzerne au sec (plus de rendement donc plus d'exportations). Enfin, les autres cultures se situent entre ces valeurs extrêmes pour le bilan d'azote (entre 40 et -30 kg d'N/ha) avec des bilans en eau autour de 175 à 430 mm d'eau (rappel: PPAM autres que le lavandin non discutées ici).

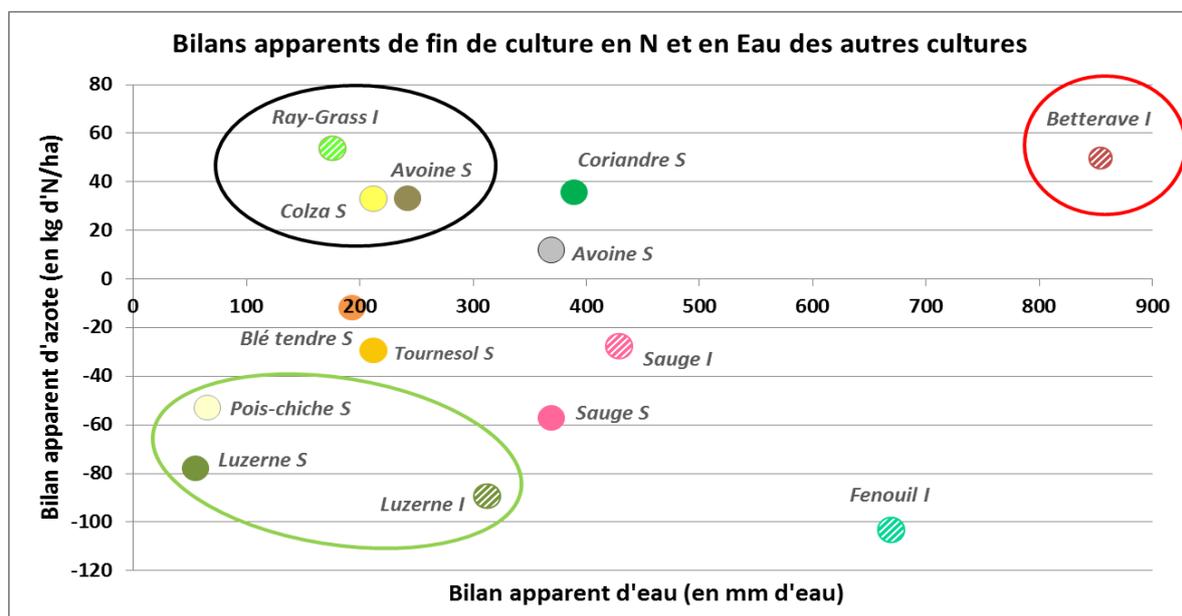


Figure 12: Bilans apparents en Azote et en Eau des autres cultures des rotations-cadres  
Cercles hachurés = cultures irriguées ; cercles pleins = cultures sèches

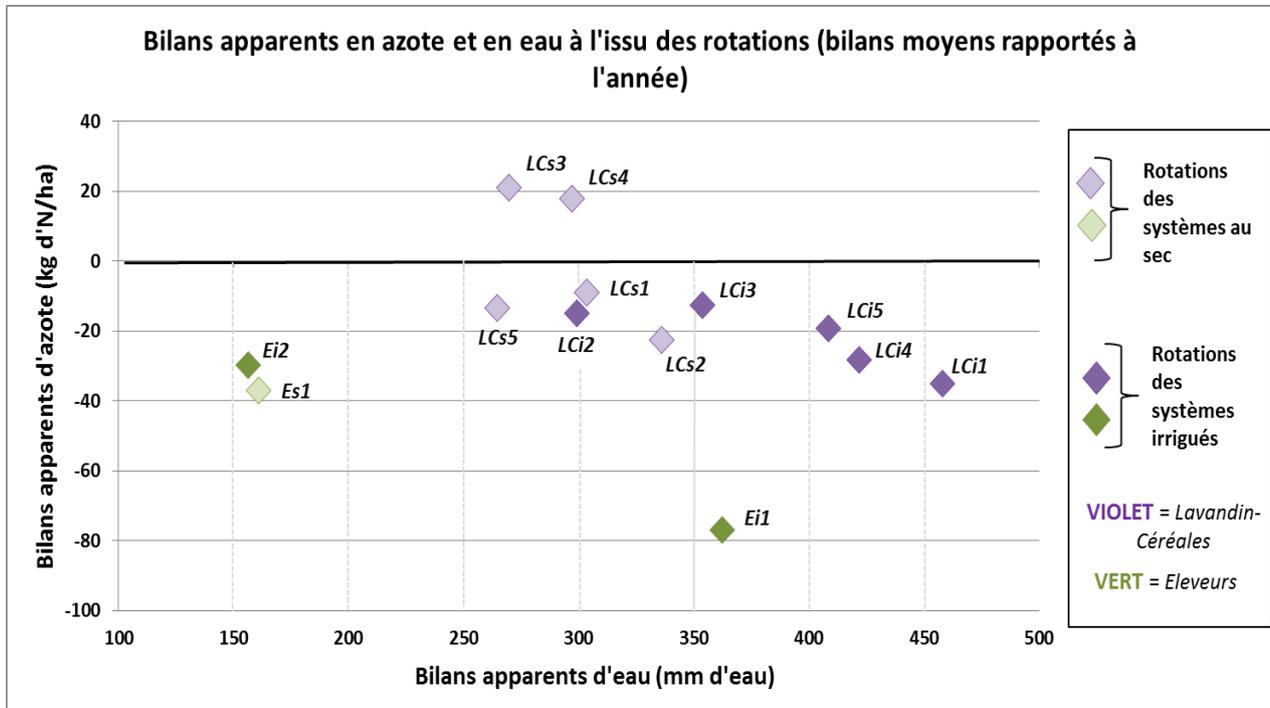
### III.3.2.2 Bilans apparents à l'échelle de la rotation

Les bilans apparents des rotations-cadres ont été calculés grâce à ceux des cultures, puis ont été divisés par la durée de la rotation (en années) pour avoir des bilans annuels moyens en azote et en eau. La Figure 13, de même structure que la figure précédente, résume ces informations et classe cette fois-ci les systèmes de culture selon leurs bilans apparents d'azote et d'eau en fin de rotation (bilans moyens rapportés à une année). Les détails des valeurs sont présents en Annexe 29.

Les bilans d'azote des rotations au sec, pour les systèmes de type *Lavandin-Céréales*, semblent en moyenne un peu plus importants que ceux des rotations des systèmes irrigués (-9 kg d'N/ha par an pour les rotations au sec contre -19 kg d'N/ha pour les rotations avec irrigation), bien que les valeurs soient assez variables entre rotations. Ces différences sont dues d'une part à la composition des rotations qui diffère entre systèmes, mais peuvent également être expliquées par l'augmentation des rendements de certaines cultures avec l'eau, lorsque l'eau est le facteur le plus limitant.

En outre, il est intéressant de constater que les bilans azotés pour l'élevage (*Ei* et *Es*) sont particulièrement bas (jusqu'à -77 kg d'N/ha par an pour le système irrigué *Ei2*). Cela s'explique par la grande proportion de légumineuses présentes dans les rotations pour nourrir le bétail, où les fertilisations azotées sont absentes.

L'irrigation de la luzerne, entre autre, participe à diminuer les résidus d'azote en fin de rotation, grâce aux augmentations de rendement et donc aux augmentations d'exportations par la récolte. Les effluents d'élevage dus au pâturage du bétail sur les cultures n'ont pas été pris en compte ici, car ils sont difficiles à estimer avec les données récoltées lors de l'enquête. En effet, la taille des troupeaux au pâturage peut varier selon les parcelles et les périodes. De plus, les prairies permanentes et les cultures fourragères ne sont pas toutes pâturées sur les exploitations, puisqu'une partie est réservée à la vente de fourrage à d'autres éleveurs. Les bilans azotés des systèmes d'élevage sont donc légèrement sous-évalués.



**Figure 13: Comparaison des bilans d'azote et d'eau en fin de rotation (moyenne par an)**

*LCi* = type Lavandin-Céréales irrigué ; *LCs* = type Lavandin-Céréales sec ; *Ei* = type Elevage irrigué ; *Es* = type Elevage sec

**Pour les bilans hydriques**, l'ensemble des rotations étudiées ont des valeurs supérieures à 100 mm d'eau résiduelle par an en moyenne. Par rapport aux systèmes secs, les bilans des systèmes irrigués sont supérieures d'environ 95 mm d'eau en moyenne pour les types *Lavandin-Céréales* (*LC*) et 98 mm d'eau pour les types *Elevage* (*E*). A titre de comparaison, les précipitations journalières relevées sur la commune de Valensole peuvent varier de 15 à 85 mm d'eau (Annexe 30), ce qui montre que les apports d'irrigation par an sont de l'ordre de grandeur de une à trois pluies. En reprenant, comme précédemment, le rapport théorique d'excédent d'azote sur l'excédent d'eau pour deux rotations irriguées, aux teneurs en légumineuses différentes, on peut alors constater l'intérêt que représentent les légumineuses (couplées à l'irrigation), pour réduire la pression polluante en azote. Par exemple, avec 71% de légumineuses, la rotation du système irrigué *Ei1* présente un flux de nitrate moyen par an plus faible que la rotation du système sec *Es1* avec 54% de légumineuses : -70 mg d' $\text{NO}_3^-/\text{l}$  par an pour *Ei1* contre -55 mg d' $\text{NO}_3^-/\text{l}$  par an pour *Es1* (Annexe 28).

**En résumé:** A l'échelle des rotations, l'irrigation est donc un des facteurs pouvant amener à une diminution des teneurs d'azote résiduel, lorsque cela permet de plus grandes exportations par les cultures en augmentant les rendements. Les bilans apparents ont permis de montrer que l'irrigation pouvait ainsi jouer de différentes manières sur les pressions polluantes et les risques de lessivage d'azote. Pour les cultures dont le facteur limitant est l'eau, l'irrigation permet une augmentation de rendement et donc une augmentation des exportations d'azote. Si ces mêmes cultures sont peu, voire pas fertilisées (légumineuses par exemple), la pression polluante en azote est donc très réduite, ce qui est un avantage pour la préservation de la qualité des sols et des eaux. Au contraire, certaines cultures fortement fertilisées et irriguées (betterave semence, fenouil) présentent un risque plus grand de pollution des sols et des eaux en nitrate. La variabilité des valeurs inter-systèmes indique que la composition des rotations culturales est un des facteurs les plus importants pour réduire la pression polluante en azote dans les sols et dans les nappes en fin de rotation.

## IV. Chapitre 4 - Axe Biodiversité

### IV.1 Rappel des enjeux et Méthodologie de l'Axe Biodiversité

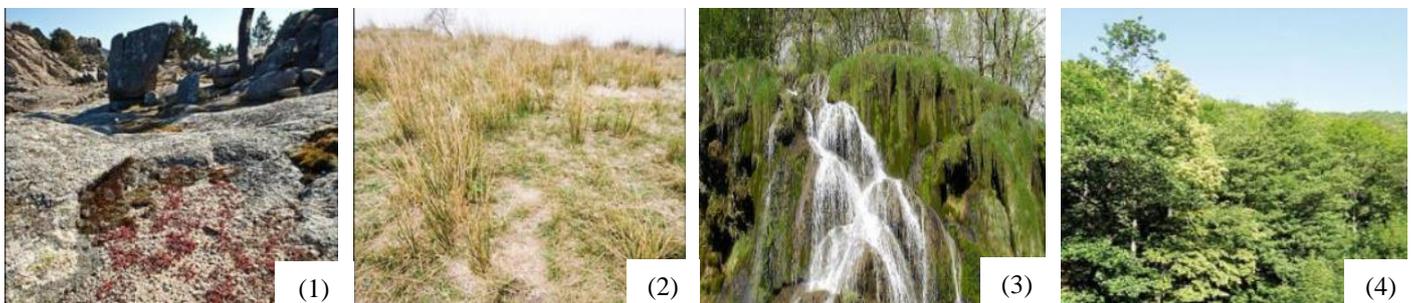
#### IV.1.1 Liens entre les pratiques agricoles et la biodiversité

Tout comme il existe des impacts sur les cycles biogéochimiques des sols, le développement de l'agriculture et plus précisément la modification des pratiques agricoles peuvent avoir de nombreux impacts sur la biodiversité en général. En effet, tout milieu est défini par une **relation espèce-habitat** qui va déterminer les différentes espèces animales, végétales ou fongiques qui vont s'y développer (Wolff, 2001). Les caractéristiques du milieu régissant cette relation peuvent alors être vues sous deux échelles d'analyse aux fonctions différentes. La première est **l'échelle de l'habitat**, qui va fournir, grâce au type d'usage des sols, des ressources (alimentaires notamment) et des lieux d'habitats très spécifiques. La **deuxième échelle est celle du paysage**, qui va déterminer la distribution des différents habitats sur un territoire et leur accessibilité (Kozakiewicz, 1995 et Wolff, 2001). Tout changement dans l'une et/ou l'autre échelle va provoquer des modifications sur la biodiversité. De manière générale, plus la diversité des habitats est élevée sur un territoire, plus il y a de diversité biologique à l'échelle du paysage (Farina, 1998). En outre, la biodiversité d'un écosystème produit de nombreux services écosystémiques sur l'environnement et sur les agrosystèmes en particulier, comme les services de régulation, d'approvisionnement, de support et les services culturels (beauté d'un paysage par exemple) (Millennium Ecosystem Assessment, 2005) (Altieri, 1995).

L'irrigation a été identifiée comme pouvant être un facteur affectant de manière directe les habitats d'un territoire (modifications des pratiques agricoles), tout en influençant de manière indirecte le paysage (diversification des cultures, modification des surfaces cultivées, etc...) (Wolff, 2001). Dans un contexte d'augmentation de la résilience des systèmes par maintien des services écosystémiques, il est donc important de mieux comprendre les impacts que peut avoir l'irrigation sur la diversité biologique de manière générale et dans le cadre de notre étude, sur le plateau de Valensole en particulier.

#### IV.1.2 La biodiversité, thématique au cœur du plateau de Valensole

Par sa localisation et sa configuration particulière, le plateau de Valensole détient quatre habitats classés au titre de la Directive Habitats du réseau Natura 2000 (INPN, 2017). Il s'agit des pelouses rupicoles calcaires ou basiphiles de *l'Alyso-Sedion albi* (1) (pelouses sur des roches calcaires de falaises), de parcours substeppiques de graminées et annuelles du *Thero-Brachypodietea* (2) (petites surfaces de parcours au pied de falaises), des sources pétrifiantes avec formations de travertins (formations végétales rencontrées au niveau de sources) (3) et des forêts de pente, éboulis, ravins du *Tilio-Acerion* (forêt de tilleuls notamment) (4) (Figure 14).



**Figure 14: Illustration des quatre habitats classés en Directive Habitat du plateau de Valensole**  
Source : INPN

De plus, le développement d'une faune sauvage importante et souvent protégée sur le territoire a valu au plateau l'obtention d'une Directive Oiseaux (COPIL Natura 2000, 2016). Ainsi, les paysages ouverts du plateau et les réseaux de bosquets et de haies sont des conditions favorables à 16 espèces de chauves-souris, tandis que les pelouses et cultures sèches sur des sols caillouteux sont très prisées par des oiseaux

steppiques et en particulier par l'Outarde canepetière (*Tetrax tetrax*) (DOCOB, 2013). Cette dernière est protégée au niveau national et européen (Convention de Berne du 19/09/79 et Arrêté ministériel du 09/07/99), car sa population est globalement en déclin (chute des effectifs d'outarde de plus de 80% en France entre 1980 et 2000) (PNRV, 2008). En outre, la PNRV a instauré une Mesure Agroenvironnementale et Climatique (MAEC) « Outarde » sur le plateau, destinée à préserver des habitats agricoles spécifiques à cette espèce à certaines périodes de l'année sur le plateau. Cette mesure incitative consiste en la création de couverts herbacés sur 5 ans, au sein des exploitations agricoles, sur lesquels aucune pratique n'est effectuée entre le 01 mai et le 01 août, dans le but de réduire la destruction des sites de reproduction de l'oiseau (DDT 04, 2016). La diminution constatée du nombre d'outardes présentes sur le plateau depuis plusieurs années est attentivement suivie par plusieurs acteurs du territoire. Ainsi, la future extension du réseau d'irrigation est porteuse de questionnements au sujet du risque de perturbations des habitats de cet oiseau steppique, mais également des autres habitats caractéristiques du plateau.

### ***IV.1.3 Méthodologie de l'axe Biodiversité***

Pour approcher les liens entre l'irrigation des cultures et ses effets sur la biodiversité du plateau de Valensole, notre étude se focalise ici sur deux axes : les impacts sur l'Outarde canepetière, puisque c'est l'oiseau steppique protégé qui suscite le plus d'attention actuellement au vu de son déclin au niveau national, mais également l'impact de l'irrigation sur la biodiversité des sols. En effet, le sol est un des premiers compartiments à être touché par l'apport d'eau lors d'une irrigation. L'analyse des impacts de l'irrigation sur les autres espèces animales, végétales ou fongiques du territoire serait très intéressante, mais n'a pas pu être réalisée dans cette étude faute de temps.

#### ***IV.1.3.1 Méthodologie pour l'Outarde canepetière***

Pour se faire, une étude bibliographique de l'Outarde canepetière a été réalisée et un entretien téléphonique a eu lieu avec Axel WOLFF, dont la thèse a porté sur les impacts des changements de pratiques agricoles sur cette espèce dans la Crau (Languedoc-Roussillon). En outre, des échanges avec les membres du PNRV ont permis d'obtenir la carte des observations d'outardes sur le plateau depuis plusieurs années, ainsi que des ressources bibliographiques supplémentaires pour l'étude. Les résultats et discussions de cet Axe Biodiversité sont présentés par thématique.

#### ***IV.1.3.2 Méthodologie pour la biologie des sols***

Concernant la biologie des sols, la SCP a mis en place, en partenariat avec l'Institut Méditerranéen de Biodiversité et d'Ecologie marine et continentale (IMBE), une première expérimentation sur le plateau, consistant à caractériser la macrofaune du sol (araignées, opilions et carabes) sur parcelles de lavandin au sec et parcelles de lavandin irrigué (plantier et lavandin âgé), en prélevant des échantillons de sol chez des exploitants du plateau. Cette étude comportera plusieurs campagnes, mais les premiers résultats ont été communiqués et seront donc résumés dans la troisième partie de ce chapitre. De plus, une synthèse bibliographique des impacts de l'eau sur la faune microbienne du sol (bactéries et champignons) sera proposée, grâce aux articles indiqués par Annette Bérard, chercheuse à l'INRA d'Avignon.

## IV.2 Résultats - Impacts de l'irrigation sur l'Outarde canepetière

### IV.2.1 Présentation de l'Outarde canepetière (*Tetrax tetrax*)

#### IV.2.1.1 Caractéristiques et mode de vie de l'espèce

Originnaire des steppes semi-arides de la zone du Paléarctique, l'Outarde canepetière se rencontre actuellement dans quelques pays d'Europe de l'Ouest, et vit sur des sols secs et caillouteux, comme des zones de parcours, des zones herbacées et des cultures sèches au couvert végétal relativement bas (IOP World Bird List, 2017). Elle apprécie des climats chauds et secs, comme le climat méditerranéen qui existe sur le plateau. En France, la grande majorité des outardes se retrouvent dans la plaine de la Crau avec 500 à 650 mâles répertoriés, mais la Provence est également une zone importante où prospère l'oiseau. Cette espèce est d'ailleurs devenue sédentaire dans ces deux zones, alors qu'elle était migratrice à l'origine. L'outarde passe donc l'hiver sur le plateau de Valensole, impliquant qu'elle ait disposition un habitat propice à son maintien tout au long de l'année.

Cet oiseau d'une quarantaine de centimètres de haut a des comportements bien distincts en fonction des périodes de l'année, mais également en fonction du sexe de l'animal. Alors que la femelle a tendance à se camoufler une bonne partie de l'année, le mâle connaît une période de parade au printemps, qui le pousse à se déplacer de mars à mai dans des zones où il peut être visible de loin par les femelles (couvert végétal bas). De manière générale, **les outardes fuient les milieux trop arborés**, car les haies d'arbres ou les zones boisées constituent des obstacles visuels qui rendent l'oiseau plus vulnérable aux prédateurs (qui risquent ne pas être vus à temps par l'oiseau). Pour se camoufler, **l'outarde préfère des cultures ou des couverts végétaux dont la hauteur ne dépasse pas 40 cm** : cela permet à l'oiseau de se cacher tout en pouvant observer ses partenaires ou ses ennemis à longue distance (WOLFF Axel, communication personnelle). Les adultes sont quasiment végétariens, ce qui explique leur préférence pour les cultures herbacées. Ils consomment parfois quelques insectes, contrairement aux poussins qui sont exclusivement insectivores au début de leur vie (PNRV, 2008). Les femelles ne se déplacent qu'au moment des accouplements, vers le mois de mai, pour rejoindre les mâles sur des milieux ouverts. Elles cherchent ensuite une végétation dense pour la ponte et la couvaison. Une femelle pond entre **3 et 4 œufs par an**, de couleur verte, qu'elle incube pendant 22 jours jusqu'à éclosion, puis elle couve ensuite sa portée de poussins jusqu'à mi-juillet (Wolff, 2001) (Figure 15).



Figure 15: Photographies d'un mâle *Tetrax tetrax* (à gauche) et d'œufs, verts, de femelles *Tetrax tetrax* (à droite)

Source : PNRV, Courrier scientifique, 2008

Parmi les cultures qui servent à l'alimentation de l'Outarde au printemps et en été, les jachères sont recherchées (quand la hauteur n'est pas trop importante), ainsi que les parcours à faible charge pastorale et le sainfoin. Les cultures de lavandin et de blé jeune sont utilisées au printemps par les mâles pour les parades principalement. Pour les femelles, ce sont principalement les cultures de luzerne qui sont recherchées après l'accouplement pour la ponte, à condition qu'elles ne soient pas trop perturbées par les fauches. En outre, les pontes peuvent avoir lieu dans les cultures de céréales à paille, les jachères, les parcours extensifs et parfois dans le sainfoin âgé (PNRV, 2008). Une découverte intéressante concernant l'alimentation des outardes en période hivernale a été faite suite à la thèse d'Axel WOLFF sur les outardes

canepetières de la Crau. Alors que les outardes préfèrent les habitats herbacés bas et les parcours au printemps, ces dernières se nourrissent dans **des cultures à grains modifiées par l'homme en automne/hiver, comme le colza jeune ou les céréales d'automne**. Ces cultures sont donc des ressources alimentaires et des lieux de vie complémentaires à ceux du printemps et de l'été (Wolff, 2001).

Enfin, l'Outarde est **sensible à l'intensification des pratiques agricoles**. L'utilisation importante d'insecticides et d'herbicides diminuent ainsi drastiquement les ressources alimentaires de l'animal (PNRV, 2008). Des études ont également montré l'impact des herbicides sur la plus faible résistance des œufs à la destruction mécanique (Ratcliffe, 1970). En outre, le passage d'engins agricoles (moissonneuses par exemple) est susceptible de détruire les nids et de perturber les oiseaux. L'augmentation des charges pastorales sur les parcelles pâturées peut aussi représenter un risque de destruction des nids plus important, bien que le risque de piétinement soit considéré comme faible avec des troupeaux conduits de manière extensive (Schultz, 1985). Enfin, l'irrigation pourrait représenter un risque de diminution des habitats favorables à l'outarde, puisque cet oiseau vit généralement sur milieu sec. Une modélisation des effets de l'irrigation sur la plaine de Llèida en Espagne a notamment montré que les populations d'oiseaux steppiques, dont l'Outarde canepetière, étaient négativement impactées par la conversion des cultures sèches en cultures irriguées intensives, à cause de la diminution des zones herbacées extensives (Brotons *et al.*, 2004). Il serait donc intéressant de poursuivre cette étude par une évaluation fine de l'impact de l'irrigation sur l'outarde, en condition réelle sur le plateau de Valensole, pour voir si les effets seraient les mêmes.

#### ***IV.2.1.2 Localisation de l'Outarde sur le plateau de Valensole***

D'après les données du PNRV, il existe actuellement sur le plateau trois zones où l'Outarde canepetière a été observée en majorité, bien que la population semble décliner ces dernières années. La première zone se trouve vers les communes de Valensole et de Brunet, avec une population de mâles chanteurs qui est passée de 11 jusqu'en 2005 à 6 en 2008. La deuxième zone se situe sur la commune de Montagnac-Montpézat : 7 mâles y ont été estimés en 1994 contre 2 mâles depuis 1996. Enfin, depuis 2005, 1 à 2 mâles ont été signalés dans la troisième zone du plateau, à proximité de la commune de Roumoules (PNRV, 2008). La carte présentée en Annexe 31 et réalisée avec les relevés du PNRV illustre bien cette répartition. En outre, sur le plateau, les relevés ont montré que les mâles chanteurs d'outardes ont été aperçus en majorité sur 4 types d'assolement : les cultures de sainfoin, suivi des friches, des cultures de lavandin et des parcours, ce qui correspond aux informations retrouvées dans la bibliographie (Annexe 31). Contrairement aux autres zones desservies depuis longtemps par le réseau d'irrigation de la SCP, la première zone (Valensole et Brunet) n'est actuellement pas desservie, mais elle est concernée par le projet d'extension. Il est alors pertinent de se demander dans quelles mesures une future irrigation de la zone pourrait jouer sur la population d'outarde.

#### ***IV.2.2 Impacts probables de l'irrigation sur l'Outarde canepetière***

Au vu du mode de vie de l'espèce et des informations sur l'agriculture du plateau recueillies grâce aux enquêtes, il est possible de citer quelques impacts probables de l'irrigation sur l'outarde, notamment dans la future zone d'extension du réseau d'irrigation.

##### ***IV.2.2.1 Impacts négatifs de l'irrigation***

Comme précisé dans l'étude de Brotons (2004), la réduction des habitats steppiques, à cause de l'irrigation et de l'intensivité des pratiques, est néfaste aux populations d'outardes. Si l'irrigation conduit à une conversion de la majorité des cultures céréalières et herbacées actuellement au sec en cultures irriguées, il y a donc un risque important de voir diminuer l'outarde sur le plateau. De même, si l'irrigation implique l'augmentation des apports de produits phytosanitaires sur les cultures, alors une raréfaction des ressources alimentaires de l'outarde peut se produire, en parallèle d'une fragilisation des œufs (PNRV, 2008 et Ratcliffe, 1970). D'après les résultats du chapitre 2 de ce mémoire, **les cultures de semences sous contrats et le fenouil** seraient les cultures irriguées les plus défavorables à l'outarde de ce point de vue, puisque les quantités d'eau apportées et les IFT sont relativement importants par rapport aux autres cultures. Ces cultures, présentes en zone irriguée, sont susceptibles de se développer à l'avenir dans la zone du futur réseau d'extension, dans l'hypothèse où les évolutions agricoles sont les mêmes entre les deux zones (Nord et Sud). En outre, le développement de plusieurs **vergers d'amandiers irrigués** serait

défavorable à l'outarde s'ils venaient remplacer des zones herbacées basses, puisque la culture d'amande demande l'application de plusieurs produits phytosanitaires et que les outardes fuient les zones boisées comme les vergers irrigués. De même, contrairement à son impact positif sur de nombreuses autres espèces animales, l'implantation de haies, qui pourrait être développée grâce à l'irrigation (cf Partie II.5.2), risque de réduire les habitats favorables à l'outarde. En effet, cet oiseau fuit les zones paysagères plutôt fermées. De plus, le semis-direct, qui commence à se développer et qui pourrait être valorisé par des apports d'eau en été, risque également d'être néfaste aux habitats d'outardes. Cette technique induit le passage de plusieurs engins agricoles après la moisson et notamment l'utilisation d'herbicide pour détruire les chaumes de céréales, qui constituent un habitat et des ressources alimentaires pour l'oiseau. Enfin, l'irrigation du lavandin étant ponctuelle et n'impliquant pas d'augmentation d'IFT, celle-ci ne semble pas représenter un risque en l'état actuel des connaissances. De même, l'irrigation du blé dur qui augmente certains intrants de synthèse est aujourd'hui une pratique de plus en plus rare sur le plateau et les surfaces qui pourraient être concernées (et donc être néfastes à l'outarde) ne seraient pas majoritaires.

#### ***IV.2.2.2 Impacts positifs de l'irrigation***

L'arrivée de l'irrigation pourrait également présenter des avantages pour l'Outarde canepetière. Ainsi, il a été montré que les outardes se trouvaient souvent dans des systèmes pastoraux, comme les parcours ou les cultures fourragères basses. Or, l'étude a indiqué précédemment que l'irrigation était indispensable aux éleveurs du plateau. L'extension du réseau pourrait alors permettre de **maintenir les élevages ovins existants**, voire d'en développer de nouveaux. Ces élevages, s'ils continuent d'être menés de manière plutôt extensive, permettraient **d'augmenter les surfaces en herbes pâturées**, réduisant ainsi les fauches mécanisées sur certaines cultures : cela serait favorable au développement de l'outarde. La plupart des surfaces fourragères ne subissent aucun traitement phytosanitaire, ce qui est également un point positif. Contrairement aux cultures fourragères irriguées destinées à la vente, les cultures pâturées ne sont pas ou sont peu irriguées, ce qui est compatible avec la présence de l'outarde. En outre, l'irrigation pourrait aider le **développement de couvert végétal d'intercultures en début d'automne** sur les exploitations (cf Partie II.5). Si ces couverts sont des cultures à grains ou des cultures herbacées, ces derniers pourraient représenter des ressources complémentaires en automne/hiver pour les outardes, comme montré dans la thèse d'Axel Wolff (2001). Enfin, il a été montré précédemment que les surfaces irriguées ne dépassaient pas 50% de l'assolement d'une exploitation (contraintes financières et organisationnelles), ce qui suggère que **de nombreuses surfaces au sec seraient maintenues sur les exploitations**, même avec le développement de l'irrigation grâce au réseau d'extension. Davantage d'études seraient cependant à mener pour pouvoir vérifier les arguments avancés ci-dessus. L'irrigation peut influencer les populations d'outardes de différente manière, mais elle n'est pas le seul facteur impliqué dans la survie de l'oiseau, puisque les diminutions d'effectifs sont constatées à la fois dans la zone Nord du plateau (non desservie par le réseau SCP) et dans la zone Sud (desservie par le réseau). En outre, l'irrigation peut influencer d'autres espèces présentes dans les agro-écosystèmes.

## IV.3 Résultats - Impacts de l'irrigation sur la faune du sol

### IV.3.1 Impacts probables sur la macrofaune du sol

La première campagne d'étude de l'IMBE sur le plateau de Valensole a indiqué que **l'irrigation des parcelles de lavandin ne semble pas modifier la richesse spécifique, la diversité (selon l'indice de Shannon) et l'équitabilité** des araignées, opilions et carabes à l'échelle globale des communautés. Cependant, des **différences ont été observées à l'échelle des populations et des espèces**. Au cours de cette première campagne, davantage de familles et d'espèces d'araignées et d'opilions ont été observées en lavandin au sec (14 espèces spécifiques au sec) par rapport au lavandin irrigué (10 espèces spécifiques à l'irrigation). Cependant, les analyses statistiques n'indiquent pas de différences significatives sur les trois indices de biodiversité cités plus haut à l'échelle population. Les familles d'araignées les plus rencontrées en lavandin sont celles des *Gnaphosidae* et des *Lycosidae*. L'irrigation a cependant un fort impact sur certaines espèces, comme l'opilion *Phalangium opilio*, également influencé par le stade de développement du lavandin : l'irrigation réduit considérablement la présence de l'espèce sur les parcelles. Il en est de même pour les araignées *Alopecosa cursor* et *Haplodrassus dalmatensis* qui voient leurs effectifs diminuer en lavandin irrigué. Enfin, la biodiversité des carabes ne semble pas influencée par l'irrigation du lavandin, selon les trois indices de biodiversité étudiés. Cette étude est intéressante, car aucune autre étude à ce sujet n'a été effectuée auparavant. Cependant, les résultats ne sont que provisoires et des répétitions dans le temps seraient nécessaires pour valider les premiers constats observés. En effet, les facteurs climatiques n'ont pas pu être contrôlés et il peut y avoir un biais dans les résultats dus aux précipitations (Serbouce, 2017).

### IV.3.2 Impacts sur les bactéries et les champignons du sol

Actuellement, peu d'études se concentrent sur l'impact direct de l'irrigation sur la microbiologie des sols. Il existe cependant plusieurs articles scientifiques analysant l'impact de la sécheresse et de la chaleur sur les bactéries et champignons du sol. Cela permet alors de mieux comprendre l'importance de l'eau sur la flore microbienne du sol.

#### IV.3.2.1 Influence de l'eau sur les cellules

Tout d'abord, il faut savoir que les bactéries et champignons du sol ont une certaine capacité d'adaptation à un changement d'humidité et de température des sols. Des réactions d'adaptation au sein de la cellule peuvent avoir lieu, comme au sein des communautés microbiennes, par réorganisations. En cas de sécheresse intense, la perte d'eau par les cellules peut être fatale pour cause de l'élévation de la température interne des tissus (Billi *et al.*, 2002), mais les microorganismes peuvent sécréter des protéines particulières (Tiemann *et al.*, 2011) leur permettant de résister plus longtemps à ces phénomènes. En outre, certains microorganismes ont la capacité de passer en état de dormance ou de sporuler en attendant des conditions extérieures meilleures.

Cependant, cette capacité d'adaptation nécessite souvent beaucoup d'énergie pour les cellules (coût d'adaptation) et les études montrent que les bactéries les plus spécialisées sont celles qui sont le plus sensibles à la sécheresse et à la chaleur. Ces dernières mettront donc plus de temps pour se développer à nouveau après une forte sécheresse (Bérard *et al.*, 2015). C'est le cas notamment de plusieurs bactéries Gram – (impliquées dans la nitrification de l'azote par exemple), qui sont moins présentes dans les sols pendant des périodes de sécheresse que certaines bactéries Gram + moins spécialisées, mais plus résilientes au sec (comme *Arthobacter*) (Mongodin *et al.*, 2006). **L'irrigation des sols pourrait donc permettre de maintenir plus longtemps dans les sols les bactéries spécialisées dans certains cycles d'élément (azote) en évitant les pics de sécheresse.** Cependant, une **irrigation continue des sols pourrait faire diminuer la résilience des microorganismes qui s'y trouvent**, en sélectionnant dans le temps des microorganismes aux capacités d'adaptation à la sécheresse plus faibles (Lennon *et al.*, 2012). Il a ainsi été montré que les bactéries issues d'environnements avec de forts stress hydriques sont plus tolérantes aux sécheresses que des bactéries originaires d'environnements moins hostiles (Chen *et al.*, 1973).

De plus, un manque d'eau dans les sols rend moins disponibles les éléments nutritifs des microorganismes, ces derniers circulant généralement dans l'eau du sol pour devenir accessibles aux cellules. **Les champignons du sol se relèvent alors être plus adaptés que les bactéries pour parvenir à capter les nutriments** en cas de sécheresse. Les réseaux d'hyphes et les mycorhizations que les champignons sont capables de former sont alors des moyens efficaces pour élargir la zone de prospection des nutriments (Acosta-Martinez *et al.*, 2014). Les champignons du sol sont donc souvent plus nombreux dans les sols que les bactéries après une forte sécheresse (Bérard *et al.*, 2015). **Il serait alors intéressant de voir si l'irrigation pourrait être un moyen de développer ces champignons du sol et en particulier les mycorhizes**, qui en plus d'être assez résilients à la sécheresse et à la chaleur, peuvent s'associer aux racines des plantes cultivées, en leur permettant une meilleure prospection des ressources nutritives. Le développement de réseaux mycorhiziens résilients permettrait alors de meilleures conditions de développement pour les plantes cultivées, dans un contexte de dérèglement climatique.

#### **IV.3.2.2 Influence de l'eau sur les communautés microbiennes et leurs activités**

Lors de périodes de sécheresse et de chaleur, de nouveaux assemblages de communautés microbiennes s'organisent, modifiant certaines activités enzymatiques dans le sol (Acosta-Martinez *et al.*, 2014). Une étude a notamment montré que huit activités enzymatiques sur dix testées, jouant un rôle dans le cycle du phosphore et du carbone, augmentaient fortement lors de grandes périodes de sécheresse et de chaleur, puis que ces activités diminuaient à nouveau quelques mois après la sécheresse. Seule l'activité de l'arylsulfatase, impliquée dans le cycle du soufre, maintient son niveau d'activité après une forte sécheresse. Ce sont notamment des assemblages de champignons particuliers qui permettent le maintien de cette activité enzymatique (*Streptomyces parvisporogenes*, *Terrimonas ferruginea* et *Syntrophobacter sp*) (Acosta-Martinez *et al.*, 2014).

**La fréquence et la quantité des apports d'eau sont également des facteurs importants par rapport à la dynamique de ces cycles biogéochimiques**, dépendant des activités microbiennes du sol. Ainsi il a été montré que les minéralisations de carbone et d'azote étaient rapidement augmentées juste après l'humidification d'un sol ayant subi une période de sécheresse importante, notamment grâce à la nouvelle accessibilité du stock de matière organique du sol aux microorganismes (diffusion par l'eau du sol), qui était inaccessible pendant la sécheresse. Cependant, les taux de minéralisation de carbone et d'azote des sols à humidité constante restent plus importants à l'année que ceux des sols ayant subi des apports d'eau ponctuels (Borken *et al.*, 2009). La durée et l'intensité des périodes de sécheresse sont donc des facteurs non négligeables à prendre en compte, car ils peuvent provoquer des réactions de minéralisation différentes dans le sol (Borken *et al.*, 2009).

**L'irrigation, si elle permet d'éviter des périodes de sécheresse intense, pourrait ainsi rendre possible une meilleure stabilité des communautés microbiennes et de leurs activités enzymatiques dans le temps**, en évitant les variations dues au manque d'eau. Cette plus grande stabilité permettrait alors une meilleure régulation des cycles biogéochimiques dans lesquels les enzymes et les microorganismes sont impliqués (carbone, soufre, phosphore, etc.). En homogénéisant la minéralisation de l'azote dans le temps, les risques de lixiviation de cet élément pourraient alors être mieux connus et donc limités à certaines périodes, par des mesures préventives. Il faudrait cependant tester ces différentes hypothèses en conditions réelles sur le terrain, en observant les effets de l'irrigation à plusieurs pas de temps (court, moyen et long terme).

**En résumé** : Les résultats présentés dans ce chapitre ne sont que des premières pistes de réflexions quant à l'impact de l'irrigation sur quelques taxons de la biodiversité. A l'avenir, il serait intéressant de continuer les études à ce sujet, en intégrant également d'autres espèces aux fonctions importantes. Des recommandations pour de futures études seront proposées en chapitre 5 de ce mémoire.

# V. Chapitre 5 : Synthèse des résultats des 3 axes de l'étude

## V.1 Synthèse des résultats sous forme d'une matrice SWOT

Afin de résumer les différents résultats issus de cette première étude à vocation exploratoire, une synthèse reprenant l'architecture d'une matrice SWOT est proposée dans ce chapitre. Cette analyse permet de représenter les forces et faiblesses d'un projet ou d'une entité (diagnostic interne) ainsi que ses opportunités et ses menaces (diagnostic externe). Ici, cette analyse servira à étudier le projet d'extension du réseau d'irrigation de la SCP, par l'analyse des impacts de l'irrigation en général sur le plateau. Cette matrice permet de considérer à la fois les résultats spécifiques à chaque axe de l'étude et les résultats interconnectés entre axes. La Figure 16 résume ces résultats, qui sont développés par la suite dans le texte.

Positif	Négatif
<p style="text-align: center;"><b>FORCES</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Motivation des agriculteurs pour de nouvelles techniques</li> <li>✓ Diversification à l'échelle du paysage</li> <li>✓ Diversification des revenus de l'agriculteur</li> <li>✓ Maintien voire augmentation des rendements (efficacités)</li> <li>✓ Distilleries locales (meilleure organisation)</li> <li>✓ Maintien de l'élevage sur le plateau, et donc maintien de surfaces en herbes et parcours</li> </ul>	<p style="text-align: center;"><b>FAIBLESSES</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Augmentation des intrants à l'hectare pour certaines cultures irriguées (cultures de semences, pommes)</li> <li>➤ Coût de l'irrigation important pour les agriculteurs</li> <li>➤ Temps de travail augmenté donc main d'œuvre nécessaire</li> <li>➤ Augmentation de la lame d'eau drainante en fin de rotation (risque de lixiviation)</li> <li>➤ Sélection de certaines espèces de macro- ou microfaune du sol spécifiques et réduction de certaines autres espèces</li> </ul>
<p style="text-align: center;"><b>OPPORTUNITÉS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Si fermeture de captages: réseau SCP assure une pérennité de la ressource en eau</li> <li>✓ Si ouverture des marchés de PPAM: irrigation permet un nouvel essor économique</li> <li>✓ Meilleure implantation et choix plus larges des couverts d'interculture qui deviendront obligatoires prochainement</li> <li>✓ Incitation à l'installation de nouveaux éleveurs, donc augmentation des surfaces en herbes et des pâturages sur le plateau</li> <li>✓ Si filière légumineuse se développe: maintien des légumineuses malgré la sécheresse dans les rotations</li> <li>✓ Développement de haies (biodiversité, services écosystémiques)</li> <li>✓ Semis-direct (moins de travaux de sol profonds)</li> <li>✓ Homogénéisation des activités biologiques du sol</li> </ul>	<p style="text-align: center;"><b>MENACES</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Introduction de cultures consommatrices en eau et en intrants</li> <li>➤ Risque d'irrigation des cultures fourragères au détriment des pâtures, réduisant les habitats à outardes</li> <li>➤ Sélection d'une microflore du sol moins tolérante au sec et au chaud si irrigations fréquentes</li> <li>➤ Dépendance de la PAC: risque de voir se développer un jour des cultures très consommatrices en eau et en intrants selon modifications futures de la PAC</li> <li>➤ Développement de haies (non propices aux outardes)</li> <li>➤ Semis-direct: risque d'accumulation d'AMPA dans les sols</li> <li>➤ Risque de fortes consommations d'eau et de lixiviation si apports non adaptés aux besoins (si pas d'appui technique)</li> <li>➤ Destruction du matériel par les sangliers</li> </ul>

Figure 16: Matrice SWOT des impacts potentiels de l'irrigation par le réseau SCP des systèmes cultivés sur le plateau de Valensole

### V.1.1 Les Forces représentées par l'irrigation

L'irrigation représente tout d'abord des forces pour le plateau et ses agriculteurs. Les irrigants peuvent **diversifier leurs assolements** sur l'exploitation grâce à l'irrigation (pommiers, cultures de semences, nouvelles PPAM, etc...), ce qui leur permet d'avoir des revenus complémentaires à leurs productions principales, augmentant ainsi leur résilience du point de vue économique. Cette diversification des cultures permet également **une mosaïque plus diversifiée des paysages**. Cela est plutôt bénéfique du point de vue agro-environnemental, puisque cette diversification des surfaces constitue des barrières physiques contre les ravageurs de certaines cultures, comme la cicadelle du lavandin, tout en cassant les cycles des bioagresseurs à l'échelle des parcelles lors de rotations. Comme vu précédemment, l'irrigation permet

souvent le **maintien voire l'augmentation de la qualité de la production et des rendements** des cultures face au changement climatique, comme pour le lavandin par exemple. Elle permet également de meilleures efficacités en intrants pour la plupart des cultures traditionnelles du plateau (blé dur, lavandin). L'irrigation participe également à **l'intérêt que portent les agriculteurs pour leurs parcelles**, les encourageant alors à tester de nouvelles pratiques plus durables sans craindre des pertes dues à la sécheresse lors d'épisodes climatiques intenses. Du point de vue organisationnel enfin, le réseau d'irrigation de la SCP a permis le **développement de plusieurs distilleries locales** qui a considérablement simplifié l'organisation des agriculteurs lors des récoltes et des distillations de PPAM, permettant une plus grande souplesse dans l'exécution du travail. Une autre force importante de l'irrigation du point de vue agro-environnemental est le **maintien des activités d'élevage**. En effet, les résultats de l'étude ont indiqué que l'irrigation était devenue aujourd'hui indispensable aux activités d'élevage, car elle permet la production de ressources fourragères même en cas de sécheresse. La proximité des bornes d'irrigation par rapport aux parcelles permet aussi l'abreuvement du troupeau de manière simplifiée.

### *V.1.2 Les Faiblesses représentées par l'irrigation*

Malgré tout, l'irrigation, notamment via le réseau de la SCP, possède également des faiblesses. Pour les agriculteurs tout d'abord, la souscription au réseau de la SCP représente un **coût supplémentaire pour la production de leur culture**. Ainsi, en fonction des débits souscrits, l'abonnement à l'année peut varier de 360 € (7,5 m<sup>3</sup>/h) à 3900 € (débit de 100 m<sup>3</sup>/h), tandis que les frais de consommation sont de 0,1143 € par m<sup>3</sup> d'eau (Lang *et al.*, 2011). A titre indicatif, un des lavandiculteurs irrigants du plateau a dépensé l'année dernière environ 32 000 € d'eau sur son exploitation pour ses 140 ha équipés, soit un coût annuel d'environ 230 € par hectare équipé (coût TTC sans la main d'œuvre). Environ 3% de ces dépenses sont liés à la distillation sur place des PPAM de l'agriculteur. En outre, l'irrigation, majoritairement effectuée par enrouleurs, nécessite **du temps de travail en plus, impliquant souvent la présence de main d'œuvre supplémentaire** sur l'exploitation. Pour des exploitations dont les revenus le permettent, cela peut être une source d'emploi intéressante. Cependant, il existe aujourd'hui des exploitations dont les revenus sont insuffisants pour employer davantage de personnels.

Du point de vue agro-environnemental, l'irrigation présente également l'inconvénient **d'augmenter la lame d'eau potentiellement drainante** à l'issue des bilans hydriques apparents. Si elle est mal positionnée ou programmée, un surplus d'eau risque d'être apporté aux cultures, amplifiant le risque de transferts de polluants dans les sols et les nappes, ainsi que le risque de ruissellement. Cela est d'autant plus vrai que l'irrigation permet le **développement de certaines cultures avec des contrats particulièrement exigeants** en qualité et en quantité de production, entraînant des quantités plus importantes d'intrants à l'hectare (c'est le cas des cultures de semences par exemple). Enfin, du point de vue des macro- et micro-organismes du sol, une irrigation régulière provoque **l'augmentation des espèces préférant les milieux humides au détriment de certaines espèces des milieux secs**. Cela dépend cependant beaucoup des fréquences et des quantités d'eau apportées.

### *V.1.3 Les Menaces représentées par l'irrigation*

En fonction des facteurs extérieurs, l'irrigation peut également représenter des menaces pour certains aspects agro-environnementaux. L'étude a montré qu'à l'avenir, plusieurs agriculteurs seraient intéressés par l'introduction de nouvelles cultures irriguées, dont de nouvelles PPAM comme l'immortelle, la menthe poivrée, ou l'estragon. Aujourd'hui, peu d'informations existent quant aux besoins en nutriment et en eau de ces cultures. Bien que moins consommatrices en eau et en intrants que le maïs cultivé à l'époque, il **faudrait vérifier en amont que ces cultures ne représentent pas des menaces en termes de risques transferts de polluants** dans les nappes et les sols. L'ITEIPMAI indique par exemple une fertilisation plutôt élevée pour la menthe poivrée dans certaines régions de France (245 kg d'N/ha par an), qu'il faudrait comparer aux besoins réels de la plante en condition terrain (ITEIPMAI, 2012).

L'évolution des assolements et le **choix des cultures irriguées sont également très dépendants des modifications de la PAC**. Ainsi, si la PAC change les subventions accordées aux cultures actuelles en faveur de cultures plus consommatrices en intrants et peu efficaces dans leurs utilisations, l'irrigation pourrait alors participer à l'intensification des pratiques agricoles (et donc au risque de transfert de

polluants d'origine agricole). On voit alors l'importance de la mise en place de suivis techniques et de conseils par rapport à l'irrigation sur le territoire. Si un **tel dispositif de suivi n'est pas mis en place, alors il peut y avoir une utilisation non optimale de l'eau sur le plateau**, impactant à la fois les dépenses de l'agriculteur (coût de l'eau), l'agro-environnement (transfert de polluants et pertes d'éléments nutritifs sous forme minérale), mais détériorant également l'image des agriculteurs par la population dans un contexte de restriction d'eau face au changement climatique. En système d'élevage, l'irrigation des cultures fourragères constitue une augmentation des ressources alimentaires du bétail, mais il faudrait **veiller à ce que toutes les surfaces en herbes pâturées ne disparaissent pas en faveur des surfaces en herbes irriguées**. En effet, les pâtures comptent parmi les habitats préférés par l'Outarde canepetière et la pâture participe à l'augmentation de la matière organique du sol par les déjections animales.

Concernant les pratiques agricoles récemment introduites, le semis direct, qui pourrait être plus efficace sous irrigation, pourrait à contrario représenter un **risque d'accumulation de molécule AMPA dans les sols**, dû à l'utilisation de glyphosate pour détruire les chaumes des cultures précédentes : l'irrigation augmente cette menace. De même, l'implantation de haies, qui pourrait être plus facilement mise en place dans les exploitations irriguées, pourrait conduire à la **diminution de zones fréquentées par l'Outarde canepetière via l'augmentation des zones boisées**.

En termes de biodiversité des sols, l'irrigation, si elle est effectuée de manière fréquente, présente une autre menace. En effet, des sols plus souvent humides pourraient rendre les **micro-organismes de moins en moins résistants à la sécheresse et à la chaleur** (stratégies cellulaires de résistance aux vagues de chaleur/sécheresse moins efficaces). A terme, cela pourrait rendre les fonctionnements biologiques des sols moins résilients aux à-coups climatiques. Enfin, une dernière menace concernant l'irrigation est due aux **pertes matérielles qui peuvent être entraînées sur certains systèmes d'irrigation par les sangliers**. En effet, ces derniers détruisent régulièrement les systèmes de goutte à goutte de surface mis en place chez un des arboriculteurs enquêtés, augmentant également la charge de travail de ce dernier sur l'exploitation.

#### *V.1.4 Les Opportunités représentées par l'irrigation*

Enfin, le développement de l'irrigation promet aussi plusieurs opportunités. L'extension du réseau SCP représente premièrement une **possibilité d'accès à une ressource en eau plus pérenne pour les agriculteurs**, ce qui pourrait être d'autant plus intéressant en cas de nouvelles fermetures de captages d'eau, suite aux pollutions diffuses.

Du point de vue du développement agro-économique, l'irrigation est également une opportunité intéressante. Elle pourrait tout d'abord apporter un **nouvel essor économique via la culture de nouvelles PPAM sur le plateau**, si l'ouverture des marchés à l'international a bien lieu par les coopératives, comme la SCA3P. De plus, **si la filière des légumineuses se développe sur le plateau** (lentilles, pois chiche, etc.), alors l'irrigation serait une opportunité en plus pour développer ces cultures aux services écosystémiques reconnues dans les rotations. Les légumineuses ont en effet des besoins en eau souvent assez importants et l'irrigation permettrait de pallier aux périodes de sécheresse limitant leurs rendements. Enfin la **filière d'élevage ovin pourrait se maintenir, voire se développer davantage grâce à l'irrigation**, comme vu précédemment, puisque l'eau offre la possibilité d'augmenter les ressources fourragères du bétail. Cela aurait l'avantage de maintenir ou d'augmenter les surfaces en herbes et les parcours sur le territoire, habitats très peu intensifiés par l'homme et fortement appréciés par l'Outarde canepetière.

Certaines pratiques agricoles nouvelles auront également l'opportunité de se développer avec l'irrigation, comme la mise en place de haies sur les parcelles. En parallèle des menaces citées plus haut, **l'implantation de haies permettrait de nombreux services écosystémiques** sur les agrosystèmes, comme le développement d'auxiliaires de culture, la réduction de l'érosion éolienne et de l'assèchement des terres, un refuge pour la faune sauvage, etc...(Charreyron, 2016). L'irrigation, par l'augmentation du choix d'essences d'arbres, pourrait être un levier pour développer les haies sur le territoire. De même, bien que le semis-direct présente des menaces pour l'environnement, il représente aussi des opportunités,

comme le **maintien d'une structure des sols stables par l'arrêt du labour**. L'irrigation pourrait encourager le développement de cette technique sur les exploitations, grâce au meilleur développement du couvert végétal en fin d'été avec l'irrigation. Du point de vue de la qualité des sols toujours, des apports d'eau ponctuels réduiraient les à-coups climatiques (chaleur et sécheresse), ce qui permettrait de **maintenir des communautés bactériennes stables dans le temps, induisant ainsi des activités enzymatiques et donc des cycles de nutriments plus stables dans le temps**. De plus, le développement de mycorhizes du sol, symbioses entre champignons et racines de plantes, pourrait avoir lieu par l'arrêt du travail de sol profond, permettant aux plantes de meilleurs accès aux ressources nutritives du sol. Enfin, une dernière pratique pourrait se développer : **les couverts végétaux d'intercultures**. Ces derniers vont certainement devenir obligatoires prochainement sur le plateau avec la directive nitrate, mais cette pratique est aujourd'hui contrainte par des stress hydriques limitant le développement des couverts. L'irrigation permettrait alors un choix et un développement des couverts végétaux d'intercultures plus importants, comme par exemple les CIPAN, participant à la réduction des transferts de polluants dans les sols et les nappes.

## V.2 Les limites de l'étude

L'étude réalisée durant ces six mois a montré que l'irrigation est un levier agronomique important, qui peut avoir des impacts bénéfiques ou négatifs sur l'agro-environnement, selon la manière avec laquelle elle est utilisée. Cependant, cette première étude a comporté quelques limites.

### V.2.1 Le plan d'échantillonnage

Tout d'abord, **l'échantillonnage des exploitations enquêtées a été fait à dire d'experts** et seules des exploitations « types » ont été enquêtées. Il serait intéressant de vérifier qu'un type d'exploitation n'a pas été négligé dans cette étude par rapport à la problématique de l'irrigation. La plupart des exploitations de type *Lavandin-Céréales* sont d'autre part des exploitations très souvent enquêtées et certaines sont déjà engagées dans des démarches d'amélioration des pratiques. Il pourrait exister sur le plateau d'autres exploitations moins sensibilisées aux pratiques agricoles durables et dont la prise en compte dans l'échantillonnage aurait pu modifier certains résultats. En outre, les effectifs de chaque classe de la typologie choisie sont relativement faibles. Le temps imparti pour l'étude et le faible nombre d'agriculteurs irrigants sur le plateau a en effet limité le nombre d'enquêtes réalisées. Le type *Maraichage* n'a notamment comporté qu'un seul exemple, dont la complexité du système agricole n'a pas pu être analysée comme les autres types. Avec plus de temps, il aurait été intéressant d'augmenter le nombre d'enquêtes, pour vérifier que la typologie choisie est bonne pour répondre à la question posée et pour limiter les biais dus à un petit échantillon.

### V.2.2 Les données

La plupart des **résultats d'enquête sont basés sur les déclarations des agriculteurs** : les rendements et les itinéraires techniques décrits sont issus de l'expérience des agriculteurs et n'ont pas été vérifiés : ces valeurs avaient pour but de décrire des observations moyennes. Or chaque agriculteur adapte son itinéraire technique chaque jour en fonction des conditions extérieures (précipitations, aspects des cultures). Les résultats présentés ici indiquent donc des tendances, mais il serait intéressant à l'avenir de suivre précisément certaines exploitations, avec des relevés terrain par exemple, pour avoir accès à des données plus précises, à confronter avec les résultats obtenus dans cette étude.

Pour le calcul des exportations d'azote, **de nombreuses approximations ont dû être faites lorsque les données étaient inexistantes dans la bibliographie** (ex : taux d'exportations d'azote des PPAM, basés sur les taux d'exportations d'azote du lavandin). De la même manière, les bilans apparents d'azote et d'eau calculés ont négligé des flux qu'il aurait été intéressant de quantifier avec des relevés terrain et de la bibliographie supplémentaire (effluents d'élevage, minéralisation de l'humus, etc...). En outre, pour des contraintes de temps lors de la réalisation des enquêtes (les agriculteurs n'avaient pas toujours plus d'une heure à consacrer aux enquêtes), **l'étude des itinéraires techniques des cultures s'est limitée aux cultures des rotations-cadres**. Cependant, d'autres cultures irriguées non impliquées dans ces rotations-cadres existent au sein des exploitations : leur analyse aurait été intéressante également. Cela aurait ainsi

permis de pouvoir associer des surfaces aux bilans apparents réalisés, pour estimer un risque de lixiviation d'azote à l'échelle des exploitations entières, voire à l'échelle du plateau « agricole » entier (plateau vu comme une somme d'exploitations agricoles). Enfin, **les questions posées lors des enquêtes, bien que nombreuses, ont pu oublier de mettre en avant certains facteurs ou paramètres importants en lien avec l'irrigation.** La question de l'impact du réseau SCP sur la création de distilleries locales a notamment été abordée lors d'une discussion avec un des agriculteurs en début d'enquête, mais cette question n'était pas présente dans la version initiale du questionnaire (elle a été rajoutée par la suite dans les questions). Il est donc possible qu'à l'avenir de nouveaux impacts de l'irrigation soient mis en évidence.

Concernant l'étude de l'impact de l'irrigation sur la biodiversité, **celle-ci s'est limitée à un oiseau steppique aux enjeux importants (l'Outarde canepetière), à la microfaune du sol et à certains taxons de la macrofaune du sol.** Cependant, la biodiversité du plateau de Valensole s'étend bien sûr à de nombreux autres taxons, qu'il serait intéressant d'étudier également. En outre, les premiers résultats sur la macrofaune, obtenus grâce à l'étude réalisée par l'IMBE, ne sont que provisoires et ont été obtenus en condition réelles sur les exploitations: **certains facteurs environnementaux (climats, intrants, précédents culturaux) n'ont pas pu être contrôlés et peuvent donc représenter un biais dans l'étude.** Davantage de relevés, à différentes échelles de temps et sur davantage d'exploitations seraient intéressants, couplés à des expérimentations en conditions contrôlées, pour vérifier les résultats observés sur le terrain.

## *V.3 Perspectives pour approfondir l'étude*

### *V.3.1 Recommandations pour de futures études sur les sols*

Il serait intéressant de poursuivre les recherches sur l'impact de l'irrigation sur les sols. En effet, les bilans apparents calculés ici ont négligé de nombreux paramètres de fonctionnement du sol (par défaut) et plusieurs approximations ont été faites sur des flux non négligeables. Ainsi, il serait primordial de **quantifier dans un premier temps les coefficients culturaux** des PPAM, dont les valeurs sont actuellement inconnues, ainsi que **les taux d'exportations d'azote** par ces cultures. Ces données, calculées via des expérimentations terrain, seront utiles pour adapter les pratiques culturales aux besoins réels des cultures actuellement cultivées sur le plateau (lavandin, sauge, coriandre...), mais aussi pour prévoir les besoins des cultures envisagées à l'avenir par les agriculteurs (menthe poivrée, estragon, etc...).

De plus, l'irrigation peut avoir des effets sur les processus internes du sol, comme les **vitesse de minéralisation des résidus de culture ou de l'humus du sol.** Ces valeurs relèvent notamment de coefficients d'humification K1 (dépendant des cultures) et de coefficients de minéralisation secondaire K2 (dépendant des taux de matière organique (MO), d'argiles et de calcaire du sol). Des expérimentations avec des prélèvements de sols, combinant plusieurs modalités, pourraient être envisagées (irrigué VS sec ; fort taux de MO VS faible taux de MO; rotations avec légumineuses VS rotations sans légumineuses). Cela permettrait de prendre en compte les caractéristiques des sols et de voir comment l'irrigation modifie le stock de matière organique et d'azote minéral du sol, grâce à des bilans d'azote et de matière organique plus complets. En outre pour les bilans hydriques, des bilans plus précis **prenant en compte la réserve utile des sols, la pente** (pour le risque de ruissellement) **et la texture du sol** (pour le risque de drainage) pourraient être estimés, sous la forme d'expérimentations terrain toujours. La Figure 17 résume les propositions de bilans plus complets pour approfondir l'étude.

Il serait aussi intéressant **d'intégrer à ces expérimentations des modalités avec des intercultures et des couverts** (de rang et d'inter-rang) sur cultures semi-pérennes (lavandin), pour voir en quoi certaines mesures agro-environnementales, couplées à l'irrigation, pourraient modifier les dynamiques de fonctionnement du sol. En effet, de nombreux agriculteurs ont souligné leurs craintes vis-à-vis de la sécheresse pour ces mesures et ils sont très intéressés par des données d'expérimentation.

**Bilan d'azote** :  $\Delta$  Stock azote + Fertilisations + Mnr résidus de culture  $(1 - K1_{culture})$  + Mnr résidus du couvert  $(1 - K1_{couvert})$  + Dépôts atmosphériques + Mnr humus du sol  $(K2)$  + Déjections animales (si pâturage) – Prélèvements de la culture – Prélèvement du couvert – Dénitrification – Volatilisation – Erosion – Lixiviation

**Bilan de matière organique** :  $\Delta$  Stock MO + Humification résidus de culture  $(K1_{culture})$  + Humification résidus du couvert  $(K1_{couvert})$  + Organisation brute + Humification des amendements  $(K1_{apports})$  – Mnr de l'humus initial – Mnr résidus de culture  $(1 - K1_{culture})$  – Mnr résidus du couvert  $(1 - K1_{couvert})$  – Erosion

**Bilan hydrique** :  $\Delta$  Réserve utile + Précipitations + Irrigations – Drainage – Ruissellement – ETM culture – ETM couvert

*Figure 17: Proposition de bilans plus complets d'azote, de matière organique et d'eau (vert = entrées; rouge = sorties; Mnr = Minéralisations ; ETM = Evapotranspiration maximale)*

Enfin, des recherches sur l'impact du mode et des fréquences d'irrigation semblent indispensables à l'avenir. Une irrigation ponctuelle par enrouleurs n'a certainement pas le même effet sur le sol qu'une irrigation régulière par goutte à goutte de surface ou goutte à goutte enterré. Le profil d'infiltration de l'eau dans les sols avec différents matériels d'irrigation et notamment l'accès à l'eau par les racines avec une irrigation souterraine sont des questions d'actualité sur le plateau.

### V.3.2 *Recommandations pour de futures études sur la biodiversité*

Les résultats présentés dans l'étude ne sont que des premières pistes de réflexions quant à l'impact de l'irrigation sur quelques taxons de la biodiversité. A l'avenir, il serait intéressant de faire plusieurs expérimentations terrain, avec des paramètres extérieurs contrôlés, pour essayer de mieux comprendre les processus sur lesquels jouent l'irrigation, aussi bien sur la macrofaune que sur la microfaune. En effet, il est difficile de dissocier l'impact direct et indirect de l'irrigation par rapport aux autres facteurs environnementaux pouvant jouer sur la biodiversité et sa dynamique dans le temps. L'intensification des pratiques agricoles, le type de travail du sol, l'urbanisation d'un territoire et le climat peuvent par exemple interagir avec d'autres facteurs comme l'irrigation, voire même être à l'origine des modifications observées sur la biodiversité.

Pour poursuivre l'étude, **un suivi précis des populations d'outardes serait intéressant, ainsi que celui d'autres oiseaux steppiques sur le plateau**, par localisation télémétrique (technique utilisée dans la thèse d'Axel WOLFF) ou par localisation GPS par exemple, en posant des émetteurs sur les oiseaux pour pouvoir les suivre tout au long de l'année. Cela permettrait de pouvoir cartographier leurs déplacements et leurs habitats plus précisément. Cela permettrait alors de voir si les cultures irriguées font effectivement fuir les outardes. Cette méthode est cependant coûteuse en matériel et en temps, puisque cela suppose une capture des oiseaux pour la pose des émetteurs et que la télémétrie nécessite des déplacements sur le terrain pour repérer les oiseaux.

En ce qui concerne la faune du sol, des expérimentations seraient intéressantes, avec des relevés de sol sur des parcelles aux modalités d'irrigation bien définies. **Plusieurs types d'irrigation pourraient être testés** (aspersion par enrouleur, goutte à goutte de surface, goutte à goutte enterré) ainsi que différentes fréquences d'irrigation (quotidiennes, ponctuelles, etc..). Les études ont en effet montré que la fréquence et la quantité d'apport d'eau pouvaient modifier différemment les activités biologiques des sols. De plus, pour s'affranchir des biais dus aux précipitations, il serait intéressant d'installer une bâche au-dessus des parcelles testées, pour que les pluies n'interfèrent pas avec les irrigations. Il pourrait également être intéressant de tester ces modalités sur plusieurs cultures, puisqu'on sait que les interactions sols - microfaune - plante sont importantes (exsudats racinaires, symbiose par mycorhization, etc...) et peuvent influencer différemment les activités du sol.

Enfin, une réflexion en termes de critères de sélection et de diversité des espèces cultivées serait enrichissante à l'avenir, en parallèle des recherches sur l'impact de l'irrigation. En effet, la sélection de semences industrielles se fait depuis longtemps dans des conditions extérieures favorables aux cultures

(pas de stress hydrique, apports de fertilisants, etc...), ce qui ne favorise pas la sélection de plants résistants aux vagues de sécheresse et de chaleur. L'irrigation est une opportunité à court et moyen terme pour encourager plusieurs pratiques agro-écologiques (diversification des cultures, implantation de haies, couverts végétaux d'intercultures, etc...), mais la sélection de cultures plus résilientes face aux aléas climatiques serait également bénéfique pour limiter la dépense des cultures aux intrants. D'autres critères de sélection pourraient amener à augmenter la diversité de chaque espèce cultivée, en proposant davantage de variétés sur le marché des semences.

### *V.3.3 Proposition d'analyse par scenarii pour poursuivre l'étude*

Cette étude permet d'avoir un premier aperçu de la diversité d'effets que l'irrigation peut avoir à la fois sur le sol, sur la biodiversité et sur le fonctionnement des exploitations agricoles.

Pour aller plus loin, une **approche des impacts de l'irrigation par scenarii** serait judicieuse. Cela permettrait de prendre en compte les différents axes de l'étude, grâce à la définition de systèmes de cultures réalistes pour le plateau de Valensole, qui seraient étudiés puis comparés entre eux.

Par exemple, **la comparaison de rotations longues et de rotations courtes**, avec ou sans irrigation, seraient des scenarii intéressants à étudier, pour voir quel facteur a le plus d'impact agro-environnemental entre la diversification des rotations et l'irrigation. Il serait également intéressant de **comparer des rotations intégrant des légumineuses**, qui réduisent l'azote résiduel en fin de rotation, avec des rotations intégrant des PPAM nouvellement introduites sur le plateau. Cette approche par scenarii pourrait servir à prédire certaines variables de sortie (taux d'azote résiduels, quantités de matière active qui risquent d'être lixiviées en fin de culture, etc...), grâce à des modélisations (comme avec le modèle STICS de l'INRA par exemple). Cela aurait comme atout d'apporter des exemples concrets aux agriculteurs et aux acteurs du territoire, et cette approche permettrait d'intégrer plusieurs types d'impacts multifactoriels (impacts sur la biodiversité, sur les sols, sur le fonctionnement des exploitations agricoles).

Un projet multi-acteurs a d'ailleurs débuté en mai 2017 sur le thème de la production alimentaire durable et de l'agriculture écologiquement intensive dans les régions méditerranéennes, via la gestion de l'irrigation notamment. Ce projet, le **projet SEMIARID, va réunir de nombreux chercheurs et acteurs du territoire**. Le but est notamment de proposer des solutions pour rendre les systèmes de production plus résilients dans un contexte de changement climatique, de raréfaction de la ressource en eau et d'instabilité des marchés mondiaux. Ce projet utilisera d'ailleurs **différents scenarii de systèmes de culture** pour répondre aux questions posées. Il aura lieu à la fois au Maroc, en Algérie et en France : le plateau de Valensole est d'ailleurs un territoire qui semble prédisposé pour accueillir cette étude. Des approches participatives avec des acteurs locaux auront lieu en parallèle de **modélisations biophysiques et bioéconomiques**, dans le but d'impliquer concrètement les agriculteurs et les conseillers dans l'élaboration de ces systèmes plus durables. L'étude présentée dans ce mémoire pourra alors servir d'amorce pour comprendre en quoi l'irrigation peut être un levier intéressant dans l'élaboration de ces systèmes, selon les trois piliers de la durabilité : pilier social, pilier environnemental et pilier économique (Brundtland, 1987).

## CONCLUSION

Cette première étude sur les impacts de l'irrigation a montré que celle-ci était utilisée selon différentes stratégies par les agriculteurs. D'une part, l'irrigation permet d'assurer, voire d'augmenter les rendements des cultures traditionnelles du plateau (lavandin et blé dur), grâce à une meilleure efficacité d'utilisation des intrants. D'autre part, elle permet une diversification des assolements dans les exploitations agricoles, constituant des sources de revenus complémentaires pour les agriculteurs et donc une meilleure résilience économique en cas de variabilité des marchés. En outre pour les exploitations d'élevage, l'irrigation semble aujourd'hui devenue primordiale, puisqu'elle permet une assurance en ressources fourragères, même en cas de sécheresse intense. Elle peut également faciliter l'abreuvement des troupeaux lors des pâtures. L'irrigation implique cependant une organisation plus importante au sein des exploitations, ainsi que de la main d'œuvre supplémentaire par rapport aux exploitations au sec. Pour pouvoir employer des salariés ou des saisonniers en cas de nécessité, mais également pour financer la consommation en eau et le matériel d'irrigation, les exploitations doivent donc avoir suffisamment de ressources financières à disposition pour pouvoir irriguer.

En termes de biodiversité du paysage, l'irrigation permet une plus grande mosaïque de cultures à l'échelle du plateau, ce qui est bénéfique pour limiter la propagation des bioagresseurs et pour diversifier les habitats de la faune du plateau. Elle constitue également un levier d'avenir pour développer plus facilement l'implantation de haies (aux services écosystémiques multiples) ou encore certaines pratiques culturales durables comme la mise en place de couverts d'interculture. Cependant, il faut veiller à ce que l'irrigation n'incite pas au développement trop important de cultures fortement consommatrices en intrants et en eau, comme les cultures de semences sous contrats par exemple, puisque cela augmenterait la pression polluante en azote et en produits phytosanitaires sur les sols et les nappes du plateau. En outre, certains oiseaux steppiques protégés, comme l'Outarde canepetière, ont besoin de la préservation de certaines surfaces herbacées au sec et d'espaces ouverts pour assurer leur survie. Ces surfaces herbacées sèches doivent donc être en partie préservées. Fort heureusement, le maintien de ce type de surfaces sur le plateau semble assuré, puisque l'étude a montré qu'à l'échelle des exploitations, l'équipement des surfaces pour l'irrigation ne dépassait pas 50% de la SAU. De plus, l'irrigation pourrait favoriser l'activité d'élevage sur le plateau (impliquant de nombreux assolements herbacés servant à la pâture des troupeaux).

En termes de biodiversité et de fonctionnement du sol, les connaissances actuelles mettent en lumière la complexité des processus sur lesquels l'eau peut jouer. Une irrigation quotidienne des sols risquent de modifier les macro- et micro-organismes présents, en favorisant l'émergence de taxons plus adaptés à des sols humides et donc moins résistants à la sécheresse. Au contraire, une irrigation plus ponctuelle à certaines périodes de l'année pourrait permettre d'homogénéiser les activités biologiques des sols, voire de développer le phénomène de mycorhization, qui permet une meilleure prospection des ressources du sol par le système mycorhize-plante. Les recherches à ce sujet méritent donc d'être approfondies à l'avenir pour mieux comprendre l'impact de l'eau sur la biodiversité du sol et la biodiversité en général. Enfin, il a été montré dans cette étude que l'analyse des bilans apparents en azote et en eau de chaque rotation-cadre pouvait être une première approche pour mieux comprendre les cycles biogéochimiques du sol sous irrigation, dont le phénomène de lixiviation d'azote. La composition et le pilotage des systèmes de culture semblent être des éléments clés pour aboutir à des systèmes agricoles plus durables. L'irrigation, si elle est bien utilisée, constitue un levier en plus pour atteindre ces objectifs de durabilité. Il sera donc important à l'avenir de mettre en place des groupes de travail locaux pour enrichir les connaissances à ce sujet et pour proposer des conseils de pilotage de l'irrigation aux agriculteurs.

Avec sa situation géographique particulière, son patrimoine agricole, écologique et paysager reconnu et ses caractéristiques, le plateau de Valensole constitue donc une zone d'étude très intéressante qui est vouée à diverses évolutions à l'avenir. En participant au nouveau projet SEMIARID dès 2017, ce territoire pourra être le siège de nouveaux systèmes de culture durables et plus résilients, dans lesquels l'irrigation aura un rôle non négligeable à jouer, et qui pourront alors servir d'inspiration pour d'autres régions méditerranéennes.

## BIBLIOGRAPHIE

- Acosta-Martinez, V., Cotton, J., Gardner, T., Moore-Kucera, J., Zak, J., Wester, D., Cox, S., 2014. *Predominant bacterial and fungal assemblages in agricultural soils during a record drought/heat wave and linkages to enzyme activities of biogeochemical cycling*. Applied soil ecology, 84, p 69-82.
- Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse, 2009. *Fiche de synthèse masse d'eau/plan d'eau : lac de Sainte-Croix*. Fiche de synthèse. Disponible sur Internet : <http://sierm.eaurmc.fr/gestion/dce/geosdage/synthese-fiches.php?codeFiche=FRDL106&typeFiche=L#QualiteEtatMilieu> [Consulté le 02/09/2017]
- Alm, D. M., Stoller, E. W., & Wax, L. M., 1993. *An index model for predicting seed germination and emergence rates*. Weed Technology, 7(3), 560-569.
- Altieri, M. A., 1995. *Agroecology: the science of sustainable agriculture* (No. Ed. 2). Intermediate Technology Publications Ltd (ITP).
- Aubry S., 2017. *Caractérisation des besoins en eau du lavandin et exploration du potentiel de l'imagerie Sentinel-2 pour l'estimation d'un coefficient cultural et du suivi du dépérissement du lavandin sur le plateau de Valensole*. Rapport de stage de césure, Montpellier Supagro.23p.
- Billi, D., & Potts, M., 2002. *Life and death of dried prokaryotes*. Research in microbiology, 153(1), p 7-12.
- Bérard, A., Sassi, M. B., Kaisermann, A., & Renault, P., 2015. *Soil microbial community responses to heat wave components: Drought and high temperature*. Climate Research, 66(3), 243-264.
- Borken, W., & Matzner, E., 2009. *Reappraisal of drying and wetting effects on C and N mineralization and fluxes in soils*. Global change biology, 15(4), p 808-824.
- Bradford, K. J., & Hsiao, T. C., 1982. *Physiological responses to moderate water stress*. In Physiological plant ecology II (p. 263-324). Springer Berlin Heidelberg.
- Brisson, N., Gary, C., Justes, E., Roche, R., Mary, B., Ripoche, D., Bussièrre, F., 2003. *An overview of the crop model STICS*. European Journal of agronomy, 18(3), 309-332.
- Brisson, N., Mary, B., Ripoche, D., Jeuffroy, M. H., Ruget, F., Nicoullaud, B., Richard, G., 1998. *STICS: a generic model for the simulation of crops and their water and nitrogen balances. I. Theory and parameterization applied to wheat and corn*. Agronomie, 18(5-6), 311-346.
- Brotons, L., Manosa, S., & Estrada, J., 2004. *Modelling the effects of irrigation schemes on the distribution of steppe birds in Mediterranean farmland*. Biodiversity and Conservation, 13(5), 1039-1058.
- Brundtland, G. H., 1987. Report of the World Commission on environment and development: "our common future". United Nations.
- Charreyron A., 2016. *Elaboration, application et promotion d'une méthodologie de conception de haies multi-services adaptées au contexte du plateau de Valensole*. Mémoire, Montpellier Supagro. 154p.
- Chen M, Alexander M., 1973. *Survival of soil bacteria during prolonged desiccation*. Soil Biology & Biochemistry, 5, 213-221.
- COPIL Natura 2000., 2016. *Compte rendu du comité de pilotage Natura 2000 Plateau de Valensole*. Document technique. 21p
- 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.

DDT 04 - Direction départementale des territoires des Alpes de Haute Provence., 2016. *Notice spécifique de la mesure « Préservation de l'outarde canepetière sur le Plateau de Valensole » « PA\_VE01\_GC01 »* Couvert rotationnel Territoire du Verdon, Campagne 2016

DOCOB – Code d'action MA-EX 2 - Opérateurs des sites Natura 2000. *Réflexion de l'impact de l'irrigation sur les espèces steppiques*. Document technique. 4p.

DREAL – Préfet de la Région Provence-Alpes-Côtes-d'Azur, Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement, 2017. Disponible sur Internet : <http://www.paca.developpement-durable.gouv.fr/presentation-generale-du-programme-znieff-r640.html> [Consulté le 02/09/2017]

DDT 26 – Direction Départementale des Territoires de la Drôme et Chambre d'Agriculture de la Drôme, 2010. *Etude stratégique des filières agricoles drômoises : Plantes à Parfum, Aromatiques et Médicinales.*, 19p.

DDT Vaucluse - Direction Départementale des Territoires de Vaucluse, 2014. *Directive Nitrate : 5<sup>ème</sup> programme d'action PACA*. Plaquette de communication. Disponible sur Internet : [http://www.vaucluse.gouv.fr/IMG/pdf/Plaquette\\_de\\_communication\\_2014\\_\\_cle761883.pdf](http://www.vaucluse.gouv.fr/IMG/pdf/Plaquette_de_communication_2014__cle761883.pdf) [Consulté le 02/09/2017]

Etudiants de l'option « Production Végétale Durable » de Montpellier SupAgro, 2013. *Etude diagnostique des systèmes agricoles du plateau de Valensole*. Projet collectif, Montpellier Supagro. 4p.

Farina, A., 1998. *Bird diversity in a changing landscape (Tuscany, Italy)*. In *Landscape Disturbance and Biodiversity in Mediterranean-Type Ecosystems* p. 349-367. Springer Berlin Heidelberg.

Garbet C., 2015. *Caractérisation de la place, du rôle et du devenir des infrastructures agroécologiques dans les exploitations agricoles du Plateau de Valensole*. Mémoire, Montpellier Supagro, Montpellier. 70p.

Institut de l'élevage (IDELE), 2012. La consommation d'eau des élevages ovins laitiers en Aveyron. Poster scientifique. Disponible sur Internet : [http://idele.fr/?eID=cmis\\_download&oID=workspace://SpacesStore/b4e78c33-48bb-4bcb-a2bb-efae6bbf4240](http://idele.fr/?eID=cmis_download&oID=workspace://SpacesStore/b4e78c33-48bb-4bcb-a2bb-efae6bbf4240) [Consulté le 02/09/2017]

INPN - Inventaire National du Patrimoine Naturel., 2017. Données du site Natura 2000. Disponible sur Internet : <https://inpn.mnhn.fr/site/natura2000/FR9312012/tab/habitats> [Consulté le 02/09/2017]

IOP World Bird List, Gill F., Donsker D., 2017. IOC World Bird List (v7.1). Disponible sur Internet: <http://www.oiseaux.net/oiseaux/outarde.canepetiere.html> [Consulté le 02/09/2017]

ITEIPMAI – Institut Technique des Plantes à Parfum, Aromatiques et Médicinales., 2012. *Tableau des unités d'azote/ha pour les cultures Plantes à parfum, aromatiques et médicinales de plus de 100 ha en France*. Disponible sur Internet : [http://www.comifer.asso.fr/images/pdf/Tableaux/Donnes\\_PPAM\\_pour\\_directive\\_Nitrates\\_mai\\_2012.pdf](http://www.comifer.asso.fr/images/pdf/Tableaux/Donnes_PPAM_pour_directive_Nitrates_mai_2012.pdf) [Consulté le 02/09/2017]

Jégo, G., Sanchez-Pérez, J. M., & Justes, E., 2012. *Predicting soil water and mineral nitrogen contents with the STICS model for estimating nitrate leaching under agricultural fields*. *Agricultural Water Management*, 107, 54-65.

Kozakiewicz, M., 1995. Resource tracking in space and time. *Mosaic landscapes and ecological processes*, 136-148.

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.

- Lennon, J. T., Aanderud, Z. T., Lehmkuhl, B. K., & Schoolmaster, D. R., 2012. *Mapping the niche space of soil microorganisms using taxonomy and traits*. Ecology, 93(8), 1867-1879.
- Millenium Ecosystem Assessment., 2005. *Millenium Assessment Reports*.
- Mongodin, E. F., Shapir, N., Daugherty, S. C., DeBoy, R. T., Emerson, J. B., Shvartzbeyn, A., ... & Khouri, H., 2006. *Secrets of soil survival revealed by the genome sequence of Arthrobacter aureus TC1*. PLoS genetics, 2(12), e214.
- PNRV- Parc Naturel Régional du Verdon – Tardieu C. et Chavy D., 2008. *L'Outarde canepetière, espèce remarquable du Parc Naturel Régional du Verdon. Éléments pour sa sauvegarde sur le plateau de Valensole*, Courrier scientifique Hors Série n°1, 46 p.
- Ratcliffe, D. A., 1970. *Changes attributable to pesticides in egg breakage frequency and eggshell thickness in some British birds*. Journal of Applied Ecology, 67-115.
- Rodrigo, A., Recous, S., Neel, C., & Mary, B., 1997. *Modelling temperature and moisture effects on C-N transformations in soils: comparison of nine models*. Ecological Modelling, 102(2), 325-339.
- Schulz, H., 1985. *Grundlagenforschung zur Biologie der Swergtrappe Tetrax tetrax*, Staatlichen Naturhistorischen Museum, Braunschweig, Germany.
- 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 – Société du Canal de Provence, 1981. *Etude d'aménagement hydraulique du plateau de Valensole\_Riez\_Moustiers : Rapport de synthèse*. Archive Valensole. Document d'archive disponible à la Société du Canal de Provence – Aix le Tholonet – Service Archive.
- Bailly-Comte V., Baran N., Gourcy L., Lacassin J.-Cl., Rivet F. ,2016. – *Projet COMETE : Compréhension des Mécanismes de Transfert des produits phytosanitaires au sein de la masse d'eau des conglomérats du plateau de Valensole (FRDG209)*. Rapport final. BRGM/RP- 65591 -FR, 219 p., 145 ill., 30 ann., 3 cartes A1 hors-texte, 1 CD.
- DDT 04 – Direction Départementale des Territoires des Alpes de Haute-Provence, 2016. *Zone vulnérable nitrate : Projet de zonage 2016*. Carte. Disponible sur internet : [http://www.paca.chambres-agriculture.fr/fileadmin/user\\_upload/Provence-Alpes-Cote\\_d\\_Azur/020\\_Inst\\_Paca/CA04/Images/Actualites/carte-zv\\_2016.jpg](http://www.paca.chambres-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/Provence-Alpes-Cote_d_Azur/020_Inst_Paca/CA04/Images/Actualites/carte-zv_2016.jpg) [Consulté le 02/09/2017]
- Partenaires REGAIN, 2015. *REGAIN, accompagner l'évolution des pratiques agricoles vers des agrosystèmes plus durables sur le plateau de Valensole*. Plaquette de présentation du projet REGAIN. 4p.
- Serbouche C., 2017. *Evaluation des impacts de l'irrigation sur la biodiversité du sol en cultures de lavandins*. Rapport de stage. IUT Genie biologique – Genie de l'environnement d'Avignon. 37p.
- Tiemann, L. K., & Billings, S. A., 2011. *Changes in variability of soil moisture alter microbial community C and N resource use*. Soil Biology and Biochemistry, 43(9), 1837-1847.
- Véchambre M., 2016. *Synthèse et Analyse d'entretiens auprès des agriculteurs et techniciens : Gestion des adventices et lavande et lavandin – plateau de Valensole*. Fiche technique, 4p.
- WOLFF A., 2001. *Changements agricoles et conservation de la grande avifaune de plaine: Etude des relations espèce-habitats à différentes échelles chez l'Outarde canepetière*. Thèse de doctorat, spécialité Biologie des Populations et Ecologie. Université Montpellier II, 105 p. Disponible sur Internet : [https://www.reserve-crau.org/images/5\\_decouvrir/DOC/These\\_WOLFF\\_2001.pdf](https://www.reserve-crau.org/images/5_decouvrir/DOC/These_WOLFF_2001.pdf) [Consulté le 02/09/2017]

## TABLE DES FIGURES

<b>Figure 1:</b> Communes, assolements et principaux plans et cours d'eau du plateau de Valensole .....	2
<b>Figure 2:</b> Récolte du lavandin en vert broyé et récolte mécanisée du blé dur .....	3
<b>Figure 3:</b> Schéma explicatif de la démarche et de la présentation des résultats .....	7
<b>Figure 4:</b> Représentation des différents assolements des exploitations du type Lavandin-Céréales.....	9
<b>Figure 5:</b> Récapitulatif des assolements des catégories Elevage et Arboriculture .....	10
<b>Figure 6:</b> Comparaison des surfaces équipées avec les surfaces réellement irriguées chaque année .....	12
<b>Figure 7:</b> Exemples de rotations-cadres rencontrées par type de système de culture.....	18
<b>Figure 8:</b> Illustration de l'irrigation par bandes du blé dur et du lavandin avec des enrouleurs.....	20
<b>Figure 9:</b> Comparaison des SAU totales et de la main d'œuvre (en UTH et UTA) des exploitations irriguées (en bleu) et au sec (en rouge).....	21
<b>Figure 10:</b> Résumé des méthodes de calcul des bilans apparents .....	27
<b>Figure 11:</b> Résumés des bilans apparents en azote et en eau pour les cultures les plus présentes dans les rotations (valeurs médianes, minimums et maximums par an pour chaque culture issues des rotations étudiées).....	29
<b>Figure 12:</b> Bilans apparents en Azote et en Eau des autres cultures des rotations .....	30
<b>Figure 13:</b> Comparaison des bilans d'azote et d'eau en fin de rotation (moyenne par an) .....	31
<b>Figure 14:</b> Illustration des quatre habitats classés en Directive Habitat du plateau de Valensole Source : IPNP .....	32
<b>Figure 15:</b> Photographies d'un mâle <i>Tetrax tetrax</i> (à gauche) et d'œufs, verts, de femelles <i>Tetrax tetrax</i> (à droite) Source : PNRV, Courrier scientifique, 2008.....	34
<b>Figure 16:</b> Matrice SWOT des impacts potentiels de l'irrigation des systèmes cultivés par le réseau SCP sur le plateau de Valensole.....	39
<b>Figure 17:</b> Proposition de bilans plus complets d'azote, de matière organique et d'eau (vert = entrées; rouge = sorties; Mnr = Minéralisations ; ETM = Evapotranspiration maximale).....	44

## TABLE DES TABLEAUX

<b>Tableau 1:</b> Résumé des stratégies d'irrigation sur Lavandin et Blé dur engagés dans des rotations-cadre. 13
<b>Tableau 2:</b> Résumé des stratégies d'irrigation des autres cultures engagées dans des rotations-cadres..... 14
<b>Tableau 3:</b> Différences de rendements et d'efficacités d'utilisation des intrants pour Lavandin sec et Lavandin irrigué ..... 15
<b>Tableau 4:</b> Différences de rendements et d'efficacités d'utilisation des intrants pour Blé dur sec et Blé dur irrigué 16
<b>Tableau 5:</b> Rendements et Intensivité des pratiques des autres cultures des rotations étudiées ..... 17
<b>Tableau 6:</b> Rendements et Intensivité des pratiques de la culture d'amande ..... 17
<b>Tableau 7:</b> Composition des différentes rotations-cadre des systèmes étudiés..... 19
<b>Tableau 8:</b> Résumé des diversifications envisagées par les exploitations Lavandin-Céréales ..... 23



# ANNEXES

**Annexe 1** : La structure des sols du plateau de Valensole

**Annexe 2** : Les différentes zones du plateau de Valensole

**Annexe 3** : Informations sur la culture de lavandin

**Annexe 4** : La récolte en vert broyé

**Annexe 5** : Cartes du réseau d'irrigation existant de la SCP sur le plateau de Valensole et de la future extension du réseau prévue à l'avenir

**Annexe 6** : Carte de la localisation des enquêtes terrain

**Annexe 7** : Liste des experts sollicités pour le choix de la typologie des enquêtes

**Annexe 8** : Abréviations des différents systèmes de cultures étudiés

**Annexe 9** : Questionnaire d'enquête vierge utilisé pour les enquêtes terrain

**Annexe 10** : Efficacités en intrants

**Annexe 11** : Résumés des cultures permises par l'irrigation d'après les enquêtes

**Annexe 12** : Tableau récapitulatif des élevages rencontrés sur le plateau

**Annexe 13** : Répartition des souscriptions aux bornes d'irrigation

**Annexe 14** : Provenance de l'eau

**Annexe 15** : Matériel d'irrigation et outils de mesures

**Annexe 16** : Avis sur le goutte à goutte

**Annexe 17** : Description des rotations-cadres étudiées

**Annexe 18** : Exemple d'itinéraires techniques de certaines cultures des rotations-cadres étudiées

**Annexe 19** : Efficacités d'utilisation des intrants et densité de plantation du lavandin et du blé dur

**Annexe 20** : Enherbement des parcelles en plantes pérennes et semi-pérennes

**Annexe 21** : Comparaison de la main d'œuvre salariale et saisonnière des exploitations

**Annexe 22** : Résumé des visions d'avenir des agriculteurs enquêtés

**Annexe 23** : Récapitulatif des modifications du rythme de travail à l'avenir

**Annexe 24** : Schémas des cycles de l'eau, de l'azote et de la matière organique

**Annexe 25** : Schémas résumant l'influence de l'eau sur les termes du bilan azoté et du bilan hydrique

**Annexe 26** : Détails des calculs et des références des exportations par les cultures en azote et des coefficients culturaux

**Annexe 27** : Détails des calculs de coefficients culturaux moyens pour les cultures

**Annexe 28** : Calcul de la concentration en milligrammes d' $\text{NO}_3^-$  par litre

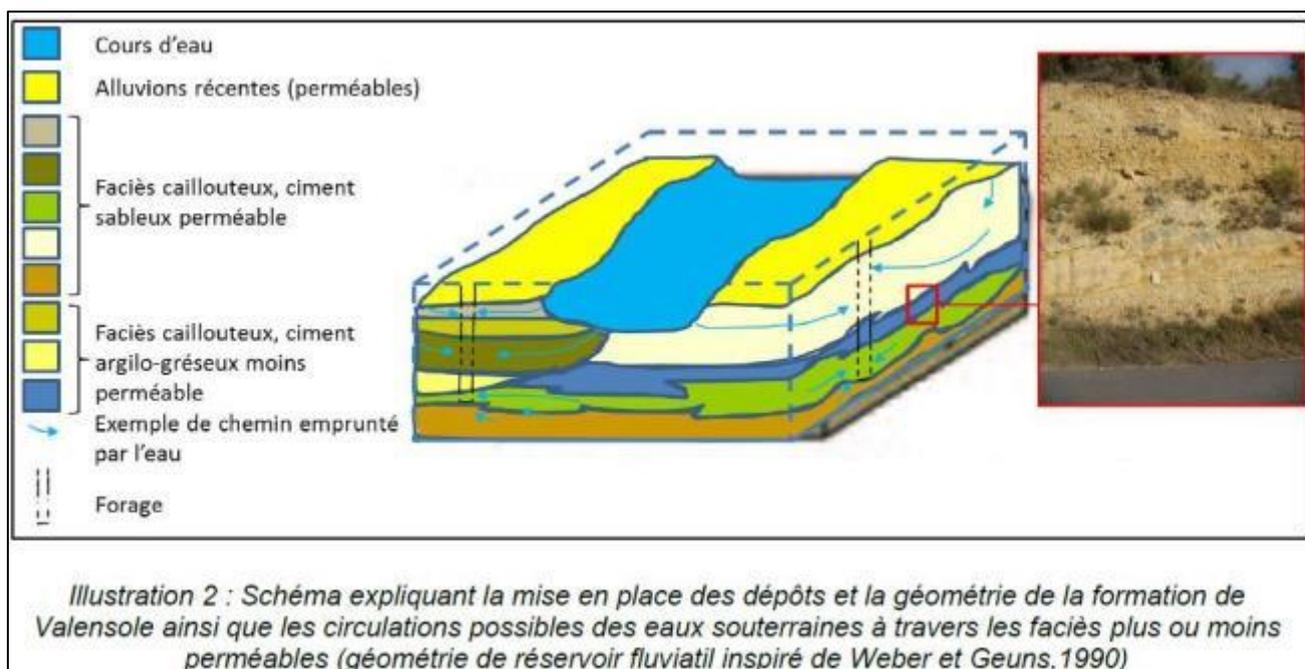
**Annexe 29** : Détails des valeurs de bilans apparents d'azote et d'eau des rotations-cadres

**Annexe 30** : Récapitulatif des précipitations journalières de Valensole (de 1999 à 2009)

**Annexe 31** : Carte des observations réalisées par le PNRV d'Outardes canepetières sur le plateau de Valensole et graphiques des assolements des observations d'Outardes canepetières

## Annexe 1 : La structure des sols du plateau de Valensole

Le plateau de Valensole est caractérisé par les « conglomérats » de Valensole, avec des alternances de couches du sol, comme des marnes, de l'argile, du gré, du sable, ou encore des conglomérats lenticulaires. Cette disposition particulière provoque la formation de différentes nappes alluviales de faible profondeur, comme décrit dans le schéma ci-dessous, extrait du projet COMETE Valensole de 2015 (Figure A1).



**Figure A1** : Schéma de la composition des sols du plateau de Valensole, (Projet COMETE, 2015)

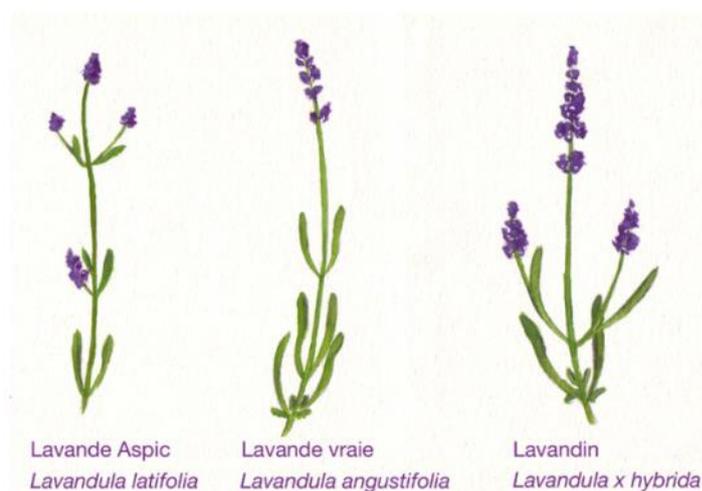
Source : Bailly-Comte V., Baran N., Gourcy L., Lacassin J.-Cl., Rivet F. (2016) – Projet COMETE : Compréhension des Mécanismes de TransfErt des produits phytosanitaires au sein de la masse d'eau des conglomérats du plateau de Valensole (FRDG209). Rapport final. BRGM/RP- 65591 -FR, 219 p., 145 ill., 30 ann., 3 cartes A1 hors-texte, 1 CD.



### **Annexe 3 : Informations sur la culture de lavandin**

Le lavandin est une plante à parfum qui est issue de l'hybridation de deux espèces : la lavande fine (*Lavandula officinalis* ou *Lavandula angustifolia*) et la lavande aspic (*Lavandula latifolia*). Son nom latin est *Lavandula x intermedia*.

Alors que la lavande fine pousse généralement dans des zones de montagne à partir d'une certaine altitude, le lavandin peut se développer dans des régions aux climats plus chauds et secs. Le lavandin se distingue de la lavande fine et de la lavande aspic par la présence de deux ramifications fleuries et assez chargées en fleurs, qui sont disposées autour de la tige principale (Figure A3).



**Figure A3 : Schéma des trois types d'espèces du genre *Lavandula***

*Source* : [www.lagrandedezelda.fr](http://www.lagrandedezelda.fr)

Le lavandin est cultivé pour sa production d'huile essentielle, qui sert à l'industrie des lessiviers notamment, puisqu'elle donne un parfum proche de la lavande fine et sert de fixateur de parfum aux lessives et produits d'entretien. Le lavandin est cependant beaucoup plus productif que la lavande : la rentabilité économique de cet hybride est donc bien meilleure. Environ 90% de la production de lavandin est d'origine française, avec environ 15 000 ha de surface de cette plante à parfum, aromatique et médicinale en France (Lang et Ramseyer, 2011).

Le lavandin est un hybride stérile, qui est reproduit par bouturage sur les exploitations agricoles. C'est une culture semi-pérenne qui reste en place entre 6 à 10 ans sur les parcelles des agriculteurs. La floraison a lieu entre juin et juillet et la récolte de la culture a lieu tous les ans, à partir de la première semaine de juillet.

Depuis quelques années, le lavandin subit des problèmes de dépérissement à cause du phytoplasme de Stolbur. Ce dernier est transmis par la cicadelle *Hyalesthes obsoletus*, insecte piqueur-suceur qui prospère dans les champs de lavandin. Les larves de cette cicadelle passent l'hiver dans le sol, puis grimpe ensuite sur les plants de lavandin où elles se nourrissent de sève, jusqu'à passer en stade adulte (adulte ailés). Aujourd'hui, la lutte contre le dépérissement du lavandin est un sujet qui sollicite de nombreux acteurs du territoire, comme le CRIEPPAM ou l'ITEIPMAI, ainsi que la plupart des lavandiculteurs du plateau. Une des solutions pour limiter la propagation de l'insecte et donc du phytoplasme est l'allongement des délais de retour du lavandin sur les parcelles agricoles.

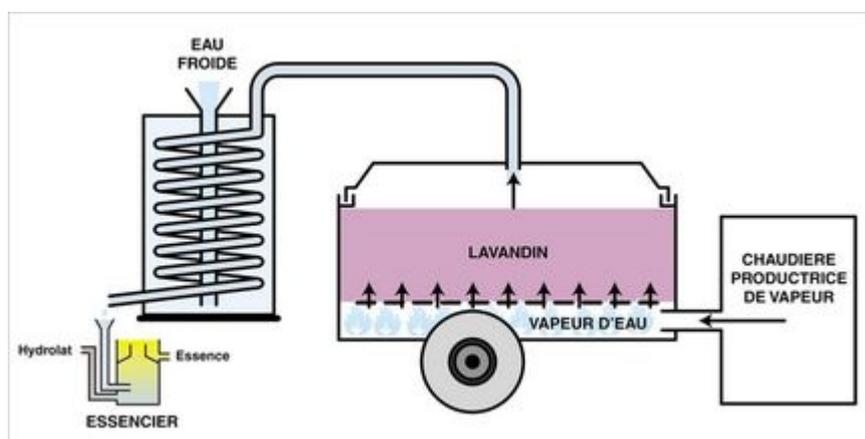
Source de l'ensemble des informations : Lang A., Ramseyer M., 2011. Analyse-diagnostic de l'agriculture du plateau de Valensole – Le rôle de l'irrigation en question. Mémoire, AgroParisTech, Paris. 236p

## Annexe 4 : La récolte en vert broyé

A l'origine, la récolte du lavandin s'effectuait manuellement avec une coupe réalisée à la faucille. Des gerbes de lavandin étaient alors formées puis laissées à même le sol pour être séchées au soleil durant 15 jours environ. La distillation avait lieu ensuite dans des alambics (pendant 1 à 2 heures), après chargement et transport des gerbes jusqu'aux distilleries situées dans les vallées. Toutes ces opérations nécessitaient beaucoup de main d'œuvre saisonnière ou salariale, et les récoltes duraient souvent jusqu'à mi-septembre.

Dans les années 1960, la mécanisation fait apparaître des innovations techniques pour la récolte du lavandin : des coupeuses de lavandin et des machines auto-chargeuses permettent ainsi de réduire la charge de travail due à la récolte et aux chargements des gerbes de lavandin pour le transport jusqu'aux distilleries. Cependant, la récolte reste consommatrice en temps et en main d'œuvre pour la distillation notamment, ce qui représente alors toujours une charge de travail et des coûts de fonctionnement important.

Aux alentours des années 2000, une amélioration technique majeure va alors grandement simplifier la récolte de la culture. Des ensileuses spéciales sont alors créées, permettant de récolter à la fois les tiges et les fleurs de lavandin mécaniquement. Les tiges et les fleurs sont alors directement transportées jusqu'à des caissons, à proximité de l'ensileuse. Ces caissons de distillation sont alors directement apportés aux distilleries : la distillation du lavandin se fait alors à l'intérieur même du caisson (Figure A4). Les temps de travaux sont alors drastiquement réduits et la demande en main d'œuvre pour la récolte diminue. Cette amélioration technique est entre autre à l'origine du regain d'intérêt des agriculteurs pour le lavandin dans les années 2000 (Lang et Ramseyer, 2011).

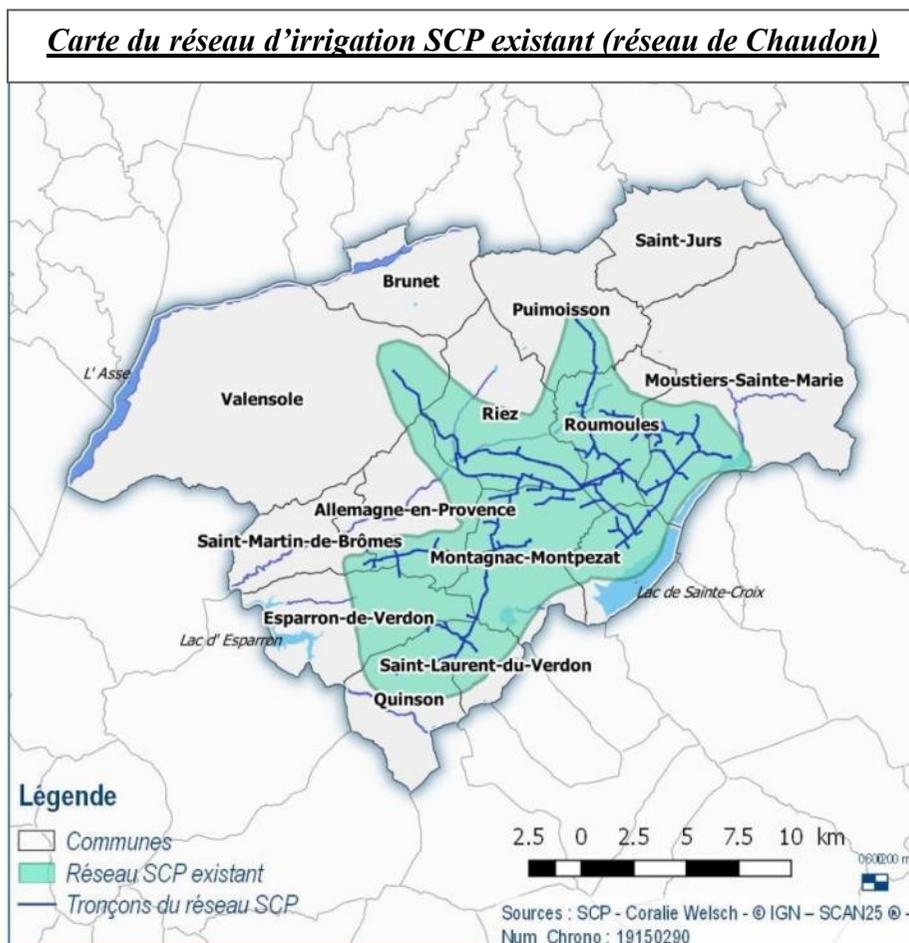


**Figure A4 : Schéma de la distillation du lavandin dans les caissons de récolte en vert- broyé**

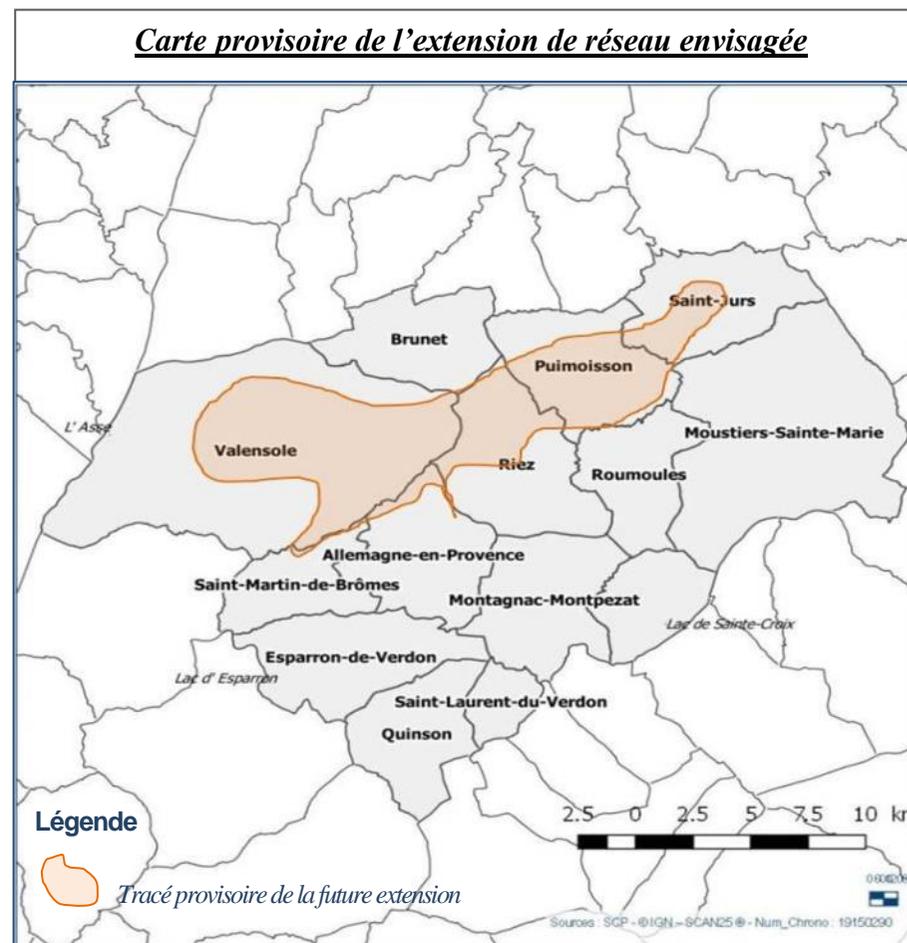
*Source :* [www.abbaye-saint-hilaire-vacluse.com](http://www.abbaye-saint-hilaire-vacluse.com)

Source de l'ensemble des informations : 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

**Annexe 5 : Cartes du réseau d'irrigation existant de la SCP sur le plateau de Valensole et de la future extension du réseau prévue à l'avenir**



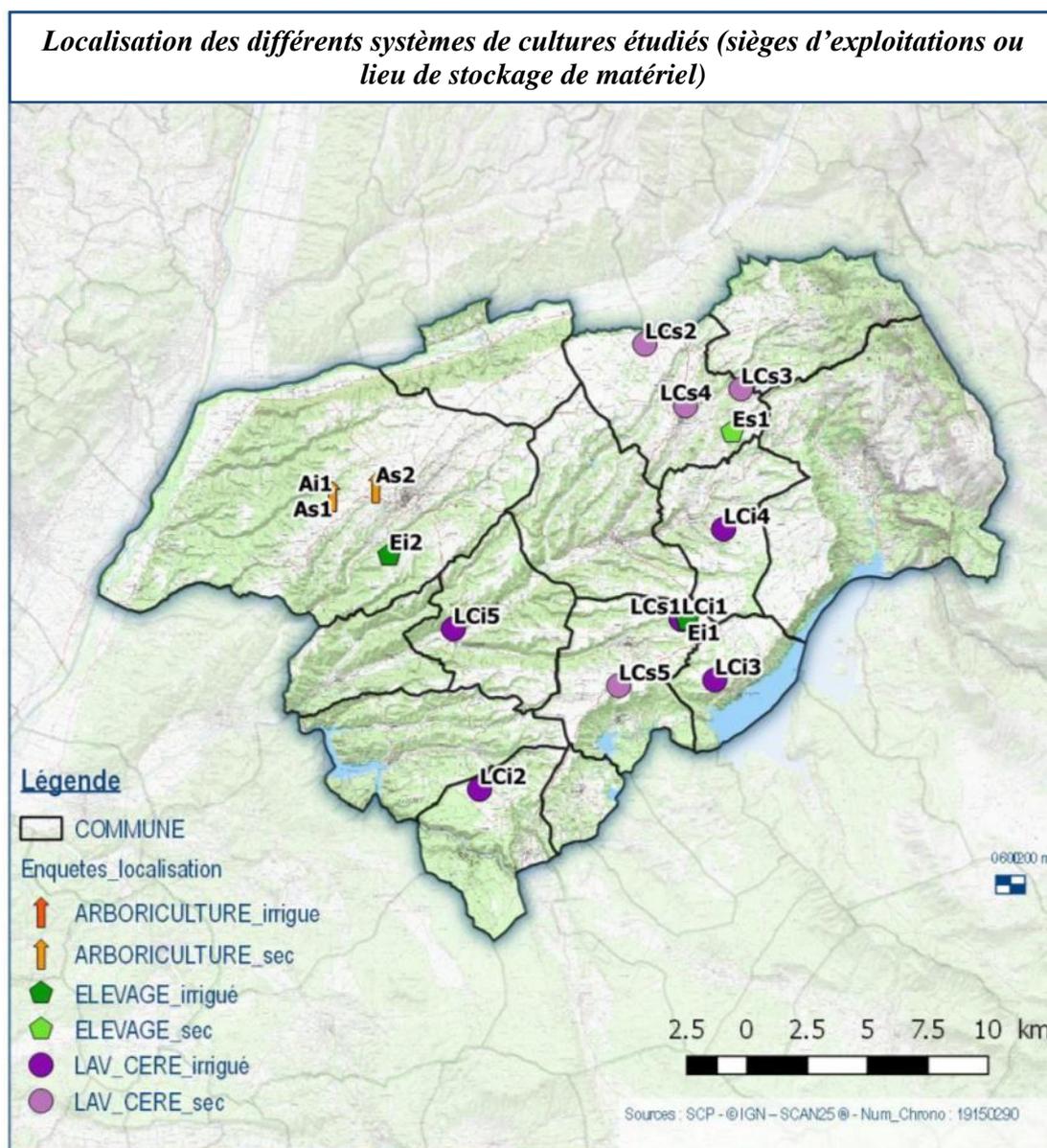
**Figure A5-1 : Carte du réseau d'irrigation existant de la SCP**  
 Source des données : Carte réalisée avec le logiciel Qgis : Réseau SCP = couche Qgis réalisée par la SCP ; Communes = données IGN



**Figure A5-2 : Carte provisoire de la future extension du réseau**  
 Source des données : AVP 2015, document interne de la SCP

## Annexe 6 : Carte de la localisation des enquêtes terrain

La localisation des exploitations enquêtées correspondant aux différents systèmes de cultures est représentée sur la carte ci-dessous. Elle a été élaborée grâce aux données GPS des sièges d'exploitations des agriculteurs (ou bien de leur lieux de stockage du matériel pour les agriculteurs n'ayant pas pu indiquer la localisation exacte de leur siège d'exploitation sur la carte), et grâce au scan 25 000 ième de l'IGN.



**Figure A6** : Carte de la localisation des enquêtes réalisées pendant l'étude  
*Source* : carte réalisée avec le logiciel Qgis

Chaque système de culture enquêté est symbolisé par une couleur (voir légende) et par un diminutif. Ai = type Arboriculture irrigué ; As = type Arboriculture sec ; Ei = type Elevage irrigué ; Es = type Elevage sec ; LCi = type Lavandin-Céréales irrigué ; LCs = type Lavandin-Céréales sec

## **Annexe 7 : Liste des experts sollicités pour le choix de la typologie des enquêtes**

Les personnes citées ci-dessous ont été interrogées afin d'établir une liste d'exploitations représentatives du plateau de Valensole dans le cadre de cette étude. Les différents conseils ont été recueillis par entretien téléphonique et lors de réunions avec les différents acteurs du territoire.

*Tableau A7 : Liste des experts sollicités pour le choix des exploitations enquêtées*

<b>NOM</b>	<b>Fonction</b>	<b>Organisme</b>
PITON Noël	Gestion de l'eau, Irrigation	Chambre d'Agriculture des Alpes de Haute Provence
LACASSIN Jean-Claude	Pédologue, Expert	Société du Canal de Provence
LECOLLINET Julien	Chef de projets en aménagements hydrauliques	Société du Canal de Provence
CHARBONNIER Christian	Directeur adjoint du Service Technique Agriculture et Territoire	Chambre d'Agriculture des Alpes de Haute Provence
PUYBERTHIER Perrine	Animatrice Natura 2000 et Animatrice du projet REGAIN	Parc Naturel Régional du Verdon
DERMECH Nora	Conseillère d'entreprise Mes P@rcelles et Animatrice du projet REGAIN	Parc Naturel Régional du Verdon
WERY Jacques	Enseignant-chercheur à Montpellier Supagro et à l'INRA de Montpellier, Concepteur de la Chaire d'entreprise AgroSYS de Montpellier Supagro	INRA de Montpellier, Montpellier Supagro

## **Annexe 8 : Abréviations des différents systèmes de cultures étudiés**

*Tableau A8 : Abréviations des différents systèmes agricoles étudiés selon la typologie choisie*

<i>Nomenclature des systèmes étudiés selon la catégorie de la typologie</i>						
<i>Lavandin-Céréales</i>		<i>Elevage</i>		<i>Arboriculture</i>		<i>Maraichage</i>
<i>Sec</i>	<i>Irrigué</i>	<i>Sec</i>	<i>Irrigué</i>	<i>Sec</i>	<i>Irrigué</i>	<i>Irrigué</i>
<b>LCs1</b>	<b>LCi1</b>	<b>Es1</b>	<b>Ei1</b>	<b>As1</b>	<b>As2</b>	<b>Mi1</b>
<b>LCs2</b>	<b>LCi2</b>		<b>Ei2</b>			
<b>LCs3</b>	<b>LCi3</b>					
<b>LCs4</b>	<b>LCi4</b>					
<b>LCs5</b>	<b>LCi5</b>					

## Annexe 9 : Questionnaire d'enquête vierge utilisé pour les enquêtes terrain

Cette annexe présente le questionnaire qui a été créé puis utilisé durant cette étude.

<b>Partie Commune - Questions sur l'exploitation agricole</b>	
<i>Depuis combien de temps êtes-vous installé en tant qu'agriculteur ici ?</i>	
<i>SAU totale de l'exploitation</i>	..... en ha
<i>... dont part de SAU en propriété ?</i>	..... en ha
<i>Main d'œuvre familiale temps plein ou partiel (nb de personnes ou UTH)</i>	
<i>Main d'œuvre salariale temps plein ou partiel (nb personnes ou UTH)</i>	
<i>Main d'œuvre saisonnière (si oui, préciser nb de personnes et période)</i>	
<i>Période avec pic de travail sur l'exploitation (mois de l'année)</i>	<input type="checkbox"/> Janvier <input type="checkbox"/> Mai <input type="checkbox"/> Septemb <input type="checkbox"/> Février <input type="checkbox"/> Juin <input type="checkbox"/> Octobre <input type="checkbox"/> Mars <input type="checkbox"/> Juillet <input type="checkbox"/> Novemb <input type="checkbox"/> Avril <input type="checkbox"/> Août <input type="checkbox"/> Décemb
<i>Parcelles proches du sièges de l'exploitation (&lt; 5 km) ?</i>	<input type="checkbox"/> 100 % des parcelles proches <input type="checkbox"/> 25 % des parcelles proches <input type="checkbox"/> 75 % des parcelles proches <input type="checkbox"/> 0 % de parcelles proches <input type="checkbox"/> 50 % des parcelles proches
<i>Parcelles morcellées ? (oui/non)</i>	
<i>De quel matériel agricole êtes-vous équipé sur l'exploitation ? (ou utilisez-vous pour vos cultures)</i>	
<i>Matériel agricole : faites-vous partie d'une CUMA ou d'un réseau de prêt de matériel ?</i>	
<i>Transformation de produits sur l'exploitation ? (Préciser si "Oui")</i>	<input type="checkbox"/> Oui, distillation <input type="checkbox"/> Non, jamais <input type="checkbox"/> Oui, vinification <input type="checkbox"/> Non, plus cette année <input type="checkbox"/> Oui, vente aux particuliers (bouquets, ...) <input type="checkbox"/> Oui, autres: .....
<i>Avez-vous d'autres activités économiques ? (gîtes, chambre d'hôte,et...)</i>	

<i>Recevez-vous des aides agricoles PAC autre que aide à la production (MAEC, Jeunes agriculteurs,...) ?</i>						
<i>Combien avez-vous de parcelles au total ?</i>						
<i>Parcelles équipées pour l'irrigation ?</i>	<input type="checkbox"/> Toutes <input type="checkbox"/> Plus de 50 % des parcelles <input type="checkbox"/> Moins de 50 % des parcelles <input type="checkbox"/> Aucunes					
<i>Parcelles irriguées ?</i>	<input type="checkbox"/> Toutes <input type="checkbox"/> Plus de 50 % des parcelles <input type="checkbox"/> Moins de 50 % des parcelles <input type="checkbox"/> Aucunes					
<b>Assolement moyen de l'exploitation</b>						
Culture	Surface concernée (ha)	Irrigation ? (O/N)	Rdt moyen	% du revenu	Démarche qualité ?	Aides PAC à la production ?
<i>Rotation cadre classique (culture et nb d'années en place) ?</i>						
<i>Les cultures irriguées sont-elles dans d'autres rotations que les cultures au sec ?</i>						
<i>SI IRRIGUE : L'irrigation se fait-elle toujours sur les mêmes parcelles ?</i>						



Caractéristiques Système de culture SEC 1	Biodiversité	<b>NON IRRIGUE</b> : Seriez-vous prêt à embaucher de la main d'œuvre supplémentaire pour irriguer ?	
		<b>NON IRRIGUE</b> : Quel matériel d'irrigation souhaiteriez-vous avoir ? Intéret pour IEP ?	
	Avez-vous <b>des haies autour</b> ou <b>dans vos parcelles</b> ?	<input type="checkbox"/> Oui, sur la plupart de mes parcelles (>50%) <input type="checkbox"/> Oui, sur une partie de mes parcelles seulement (<50%) <input type="checkbox"/> Non	
	<b>SI PRESENCE DE HAIES</b> : Irriguez-vous ou avez-vous déjà irrigué <b>vos haies</b> ?	<input type="checkbox"/> Oui, haies irriguées à certaines périodes de l'année <input type="checkbox"/> Oui, mais uniquement à l'implantation des haies <input type="checkbox"/> Non	
	Seriez-vous <b>prêt à irriguer/continuer d'irriguer des haies</b> sur vos parcelles ?	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	
	Avez-vous des <b>zones boisées autour</b> ou <b>dans vos parcelles</b> ?	<input type="checkbox"/> Oui, sur la plupart de mes parcelles (>50%) <input type="checkbox"/> Oui, sur une partie de mes parcelles seulement (<50%) <input type="checkbox"/> Non	
	Avez-vous <b>des fossés autour de vos parcelles</b> ?	<input type="checkbox"/> Oui, autour de la plupart de mes parcelles (>50%) <input type="checkbox"/> Oui, autour d'une partie de mes parcelles seulement (<50%) <input type="checkbox"/> Non	
	<b>SI LAVANDIN</b> : Avez-vous des <b>problèmes de cicadelle</b> <i>H. absoletus</i> vectrice du phytoplasme responsable du <b>dépérissement du lavandin</b> ?	<input type="checkbox"/> Oui, la plupart de mes parcelles sont concernées <input type="checkbox"/> Oui, mais une partie seulement de mes parcelles sont touchées <input type="checkbox"/> Non, je suis relativement épargné	
	<b>Besoin de conseils/formation sur l'irrigation ?</b>		

Contexte de production	<b>Questions à poser pour chaque système de culture si productions différentes ou irrigation VS au sec</b>	
	<b>Système de culture 2 (Irrigué) =</b> .....	
	<b>Rotation des cultures irriguées</b> (si différent de rotation cadre)	
	<b>* A qui vendez-vous vos produits agricoles ?</b> (Préciser quelle culture)	<input type="checkbox"/> Orga. de Producteurs: ..... <input type="checkbox"/> Vente directe: ..... <input type="checkbox"/> Eleveurs:..... <input type="checkbox"/> Autres(negociants, ) ..... <input type="checkbox"/> Autoconsommation:.....
<b>* Les aides de la PAC ont-elles un critère important pour vous pour le choix de vos cultures ?</b>	<input type="checkbox"/> Les aides PAC sont le premier critère analysé: (ex: blé dur)..... <input type="checkbox"/> Les aides PAC font parties des critères que je regarde, mais ne sont pas le premier critère : <input type="checkbox"/> Les aides PAC ne déterminent pas mon choix de cultures/surfaces	
Caractéristiques des parcelles	<b>Avez-vous des parcelles en pente ?</b>	<input type="checkbox"/> Oui, > 5 % de pente: (cultures et nb parcelles)..... <input type="checkbox"/> Oui, entre 1 et 5% de pente: (cultures et nb parcelles)..... <input type="checkbox"/> Non: (cultures et nb parcelles).....
	<b>Avez-vous des problèmes d'érosion</b> sur vos parcelles en général ?	<input type="checkbox"/> Oui, pour la plupart de mes parcelles (>75 % des parcelles) <input type="checkbox"/> Oui, plusieurs parcelles sont concernées (entre 25 et 75 %) <input type="checkbox"/> Oui, pour quelques rares parcelles (moins de 25%) <input type="checkbox"/> Non
	<b>Avez-vous des problèmes de sécheresse</b> sur vos parcelles en général (assèchement trop rapide)?	<input type="checkbox"/> Oui, pour la plupart de mes parcelles (>75 % des parcelles) <input type="checkbox"/> Oui, plusieurs parcelles sont concernées (entre 25 et 75 %) <input type="checkbox"/> Oui, pour quelques rares parcelles (moins de 25%) <input type="checkbox"/> Non
	<b>Vos parcelles sont-elles à proximité de bornes d'irrigation ?</b>	<input type="checkbox"/> Oui: Nb de parcelles :..... <input type="checkbox"/> Non : Nb de parcelles :.....

Caractéristiques Système de culture 2 IRRIGUE		Connaissez-vous les <b>taux de MO</b> de vos parcelles ?					
<b>Description de l'enherbement et gestion des résidus de culture du SdC irrigué</b>							
Culture	Rdt (moyen)	Densité semée/plantée	Enherbt. Rang ? (%)	Enherbt inter-rang ? (%)	Enherbt. Semé ou Spontané? (espèces)	Enfouiss. Résidus culture ?	Enfouiss. Résidus couvert ?
<b>Description des pratiques culturales du SdC irrigué</b>							
Culture	Phytopasitaires	Compost/ Fumier	Engrais (Org ou Min, NPK, PC)	Fréquence des apports	Volumes d'eau apportés	Fréquence des apports d'eau	

Caractéristiques Système de culture 2 IRRIGUE						
Itinéraire technique						
Culture	Désherbage mécanique ?	Nb passage par an pour désherbage méca.	Nb passage par an totaux (tracteur)	Nb de labour par an ?	Semi direct ? Semi sous couvert ?	Techniques culturales simplifiées ?
* Quels outils pour désherbage mécanique ?						
<b>SI IRRIGUEES : Provenance de l'eau ?</b>		<input type="checkbox"/> SCP <input type="checkbox"/> Forage individuel <input type="checkbox"/> Autres ? : .....				
<b>SI IRRIGUEES : Quels débits de pompe souscrits à la SCP ?</b>		<input type="checkbox"/> 7,5 m3/h <input type="checkbox"/> 15 m3/h <input type="checkbox"/> 30 m3/h		<input type="checkbox"/> 50 m3/h <input type="checkbox"/> 75 m3/h <input type="checkbox"/> 100 m3/h		
<b>SI IRRIGUEES : Quel type d'irrigation ?</b>		<input type="checkbox"/> Enrouleurs <input type="checkbox"/> Pivots <input type="checkbox"/> Goutte à goutte de surface <input type="checkbox"/> Goutte à goutte enterré <input type="checkbox"/> Autres ? : .....				
<b>SI IRRIGUEES : Pour quel usage ?</b>		<input type="checkbox"/> Irrigation continue tout au long du cycle de culture <input type="checkbox"/> Irrigation à certaines périodes, mais de manière prévue <input type="checkbox"/> Irrigation seulement en cas de sécheresse/de secours				
Rapport à l'irrigation						
<b>SI IRRIGUEES : Quels paramètres pour décider quand arroser ?</b>						
<input type="checkbox"/> Par expérience de l'agriculteur (sans outils) <input type="checkbox"/> Utilisation de tensiomètres, ou autres outils de mesures <input type="checkbox"/> Suite à conseils techniques (techniciens, etc...) <input type="checkbox"/> Suivi météorologique de l'agriculteur <input type="checkbox"/> Prévion à l'avance des quantités apportées (programmation qui ne change pas bcp selon les conditions climatiques)						
<b>SI IRRIGUEES : L'arrivée de l'irrigation a-t-elle modifié vos pratiques ?</b>						
<input type="checkbox"/> OUI - diversification de cultures : lesquelles ?..... <input type="checkbox"/> OUI - augmentation des surfaces déjà cultivées : lesquelles ?..... <input type="checkbox"/> OUI - modifications de la fertilisation : lesquelles ?..... <input type="checkbox"/> OUI - modifications des produits phytosanitaires, intrants : lesquelles ?..... <input type="checkbox"/> OUI - Autres ?..... <input type="checkbox"/> NON						
<b>SI IRRIGUEES : L'arrivée de l'irrigation a-t-elle modifié d'autres paramètres ?</b>						
<input type="checkbox"/> OUI - Augmentation des rendements : quelles cultures ?..... <input type="checkbox"/> OUI - Diminution des rendements : quelles cultures ?..... <input type="checkbox"/> OUI - Augmentation temps de travail : quelles cultures ?..... <input type="checkbox"/> OUI - Diminution temps de travail : quelles cultures ?..... <input type="checkbox"/> OUI - Autres ?..... <input type="checkbox"/> NON						
<b>SI IRRIGUEES : Y-a-t-il des contraintes dues au matériel ?</b>						
<input type="checkbox"/> OUI - Problèmes de temps : ..... <input type="checkbox"/> OUI - Problèmes de manipulation des outils : ..... <input type="checkbox"/> OUI - Problèmes de stockage matériel ou vols : ..... <input type="checkbox"/> OUI - Autres : ..... <input type="checkbox"/> NON						
Rapport à l'irrigation						
<b>SI IRRIGUEES : Y-at-il des verrous pour passage au goutte à goutte (enterré ou de surface) ?</b>						
<input type="checkbox"/> Coûts d'infrastructure/ matériel : ..... <input type="checkbox"/> Besoin d'appui technique pour l'utiliser ..... <input type="checkbox"/> GàG non adapté aux cultures présentes : ..... <input type="checkbox"/> Gênant pour travaux de sol/ pour récolte : ..... <input type="checkbox"/> Risques de détérioration : ..... <input type="checkbox"/> Autres : ..... <input type="checkbox"/> NON, pas de verrous						
<b>SI IRRIGUEES : Utilisation de ferti-irrigation ?</b>						
<b>SI IRRIGUEES : A combien estimez-vous la charge de travail supplémentaire due à l'irrigation ? (en heures par semaine)</b>						
Biodiversité						
<b>* Avez-vous des haies autour ou dans vos parcelles ?</b>						
<input type="checkbox"/> Oui, sur la plupart de mes parcelles (>50%) <input type="checkbox"/> Oui, sur une partie de mes parcelles seulement (<50%) <input type="checkbox"/> Non						
<b>* SI PRESENCE DE HAIES : Irriguez-vous ou avez-vous déjà irrigué vos haies ?</b>						
<input type="checkbox"/> Oui, haies irriguées à certaines périodes de l'année <input type="checkbox"/> Oui, mais uniquement à l'implantation des haies <input type="checkbox"/> Non						
<b>* Seriez-vous prêt à irriguer/continuer d'irriguer des haies sur vos parcelles ?</b>						
<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non						
<b>* Avez-vous des zones boisées autour ou dans vos parcelles ?</b>						
<input type="checkbox"/> Oui, sur la plupart de mes parcelles (>50%) <input type="checkbox"/> Oui, sur une partie de mes parcelles seulement (<50%) <input type="checkbox"/> Non						
<b>* Avez-vous des fossés autour de vos parcelles ?</b>						
<input type="checkbox"/> Oui, autour de la plupart de mes parcelles (>50%) <input type="checkbox"/> Oui, autour d'une partie de mes parcelles seulement (<50%) <input type="checkbox"/> Non						

Caractéristiques Système de culture 2 IRRIGUE	<p>* <b>SI LAVANDIN</b> : Avez-vous des problèmes de cicadelle <i>H. obsoletus</i> vectrice du phytoplasme responsable du dépérissement du lavandin ?</p>	<input type="checkbox"/> Oui, la plupart de mes parcelles sont concernées <input type="checkbox"/> Oui, mais une partie seulement de mes parcelles sont touchées <input type="checkbox"/> Non, je suis relativement épargné
	Descriptions des pratiques culturales:	

Caractéristiques du Système de culture 3 SEC + Elevage	<b>Contexte de production</b>	
	<b>Questions à poser pour chaque système de culture si productions différentes ou irrigation VS au sec</b>	
	<b>Elevage et Système de culture 3 (Au Sec)</b>	
	Elevage ovin ou caprin ?	
	De combien d'animaux est constitué votre élevage ?	
	Temps passé par les animaux dans bâtiment d'élevage ?	
	SI OVIN : nombre d'agneaux vendus à l'année ?	
	SI OVIN : âge des agneaux à la vente ?	
	SI CAPRIN : production de lait à l'année ?	
	Temps de présence des animaux sur parcours à l'année ?	
Production de cultures fourragères sur l'exploitation ?		
A qui vendez-vous vos produits agricoles ? (Préciser quelle culture)	<input type="checkbox"/> Orga. de Producteurs: ..... <input type="checkbox"/> Vente directe: ..... <input type="checkbox"/> Eleveurs:..... <input type="checkbox"/> Autres(negociants,) ..... <input type="checkbox"/> Autoconsommation:.....	
Les aides de la PAC ont-elles un critère important pour vous pour le choix de vos cultures ?	<input type="checkbox"/> Les aides PAC sont le premier critère analysé: (ex: blé dur)..... <input type="checkbox"/> Les aides PAC font parties des critères que je regarde, mais ne sont pas le premier critère : ..... <input type="checkbox"/> Les aides PAC ne déterminent pas mon choix de cultures/surfaces	
(Préciser les cultures concernées)		

Itinéraire technique	Culture fourragère ou prairies	Rdt (moyen)	Densité semée/plantée	Entièrement pâturée ?	Patûrée temporaire ? (préciser)	Vente de fourrage ?	Si vente, quel revenu ?
Caractéristiques du Système de culture 3 SEC + Elevage	<b>Description des pratiques culturales du SdC</b>						
	Culture fourragère ou prairie	Phytosanitaire	Fumier/Compost	Engrais (Org ou Min, NPK, PC)	Fréquence des apports		
Itinéraire technique	Culture fourragère ou prairie	Desherbage mécanique ?	Nb passage par an pour desherbage méca.	Nb passage par an totaux (tracteur)	Nb labour par an ?	Semi direct ? Semi sous couvert ?	Techniques culturales simplifiées ?
		Rotation des cultures au sec					

Caractéristiques du Système de culture 3 SEC + Elevage	Rapport à l'irrigation	<p><b>NON IRRIGUEES</b> : Pour quelles raisons les parcelles ne sont-elles pas irriguées ?</p> <input type="checkbox"/> Pas de nécessité <input type="checkbox"/> Coût trop important <input type="checkbox"/> Problèmes d'éloignement de la borne d'irrigation <input type="checkbox"/> Problèmes d'éloignement des parcelles entre elles ou par rapport au siège d'exploitation <input type="checkbox"/> Manque de connaissances sur irrigation <input type="checkbox"/> Autres	Bio diversité	<p>Vos parcelles sont-elles à proximité de bornes d'irrigation ?</p> <input type="checkbox"/> Oui: Nb de parcelles :..... <input type="checkbox"/> Non : Nb de parcelles :.....	Caractéristiques du Système de culture 4 IRRIGUE + Elevage	Questions à poser pour chaque système de culture si productions différentes ou irrigation VS au sec	
	Caractéristiques parcelles	<p><b>NON IRRIGUEES</b> :L'arrivée de l'eau vous amènerait-elle à changer vos pratiques ?</p> <input type="checkbox"/> OUI - diversification de cultures : lesquelles?..... <input type="checkbox"/> OUI - augmentation des surfaces déjà cultivées: lesquelles?..... <input type="checkbox"/> OUI - modifications de la fertilisation: lesquelles?..... <input type="checkbox"/> OUI - modifications des produits phytosanitaires/intrants: lesquelles?..... <input type="checkbox"/> OUI - Autres?..... <input type="checkbox"/> NON:.....		<p>Connaissez-vous les taux de MO de vos parcelles ?</p>		<b>Elevage et Système de culture 4 (Irrigué)</b>	
		<p>Avez-vous des parcelles en pente ?</p> <input type="checkbox"/> Oui, > 5 % de pente: (cultures et nb parcelles)..... <input type="checkbox"/> Oui, entre 1 et 5% de pente: (cultures et nb parcelles)..... <input type="checkbox"/> Non: (cultures et nb parcelles).....		<p>Avez-vous des haies autour ou dans vos parcelles ?</p> <input type="checkbox"/> Oui, sur la plupart de mes parcelles (>50%) <input type="checkbox"/> Oui, sur une partie de mes parcelles seulement (<50%) <input type="checkbox"/> Non		<p>Elevage ovin ou caprin ?</p>	
		<p>Avez-vous des problèmes d'érosion sur vos parcelles en général ?</p> <input type="checkbox"/> Oui, pour la plupart de mes parcelles (>75 % des parcelles) <input type="checkbox"/> Oui, plusieurs parcelles sont concernées (entre 25 et 75 %) <input type="checkbox"/> Oui, pour quelques rares parcelles (moins de 25%) <input type="checkbox"/> Non		<p>SI PRESENCE DE HAIES : Irriguez-vous ou avez-vous déjà irrigué vos haies ?</p> <input type="checkbox"/> Oui, haies irriguées à certaines périodes de l'année <input type="checkbox"/> Oui, mais uniquement à l'implantation des haies <input type="checkbox"/> Non		<p>De combien d'animaux est constitué votre élevage ?</p>	
<p>Avez-vous des problèmes de sécheresse sur vos parcelles en général (assèchement trop rapide)?</p> <input type="checkbox"/> Oui, pour la plupart de mes parcelles (>75 % des parcelles) <input type="checkbox"/> Oui, plusieurs parcelles sont concernées (entre 25 et 75 %) <input type="checkbox"/> Oui, pour quelques rares parcelles (moins de 25%) <input type="checkbox"/> Non	<p>Seriez-vous prêt à irriguer/continuer d'irriguer des haies sur vos parcelles ?</p> <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<p>Temps passé par les animaux dans bâtiment d'élevage ?</p>					
		<p>Avez-vous des zones boisées autour ou dans vos parcelles ?</p> <input type="checkbox"/> Oui, sur la plupart de mes parcelles (>50%) <input type="checkbox"/> Oui, sur une partie de mes parcelles seulement (<50%) <input type="checkbox"/> Non	<p>Avez-vous des fossés autour de vos parcelles ?</p> <input type="checkbox"/> Oui, autour de la plupart de mes parcelles (>50%) <input type="checkbox"/> Oui, autour d'une partie de mes parcelles seulement (<50%) <input type="checkbox"/> Non	<p>SI OVIN : nombre d'agneaux vendus à l'année ?</p>			
				<p>SI OVIN : âge des agneaux à la vente ?</p>	<p>SI CAPRIN : production de lait à l'année ?</p>		
				<p>Temps de présence des animaux sur parcours à l'année ?</p>	<p>Production de cultures fourragères sur l'exploitation ?</p>		
				<p>A qui vendez-vous vos produits agricoles ? (Préciser quelle culture)</p> <input type="checkbox"/> Orga. de Producteurs: ..... <input type="checkbox"/> Vente directe: ..... <input type="checkbox"/> Eleveurs:..... <input type="checkbox"/> Autres(negociants,) ..... <input type="checkbox"/> Autoconsommation:.....	<p>Les aides de la PAC s ont-elles un critère important pour vous pour le choix de vos cultures ?</p> <p>(Préciser les cultures concernées)</p> <input type="checkbox"/> Les aides PAC sont le premier critère analysé: (ex: blé dur)..... <input type="checkbox"/> Les aides PAC font parties des critères que je regarde, mais ne sont pas le premier critère : ..... <input type="checkbox"/> Les aides PAC ne déterminent pas mon choix de cultures/surfaces		



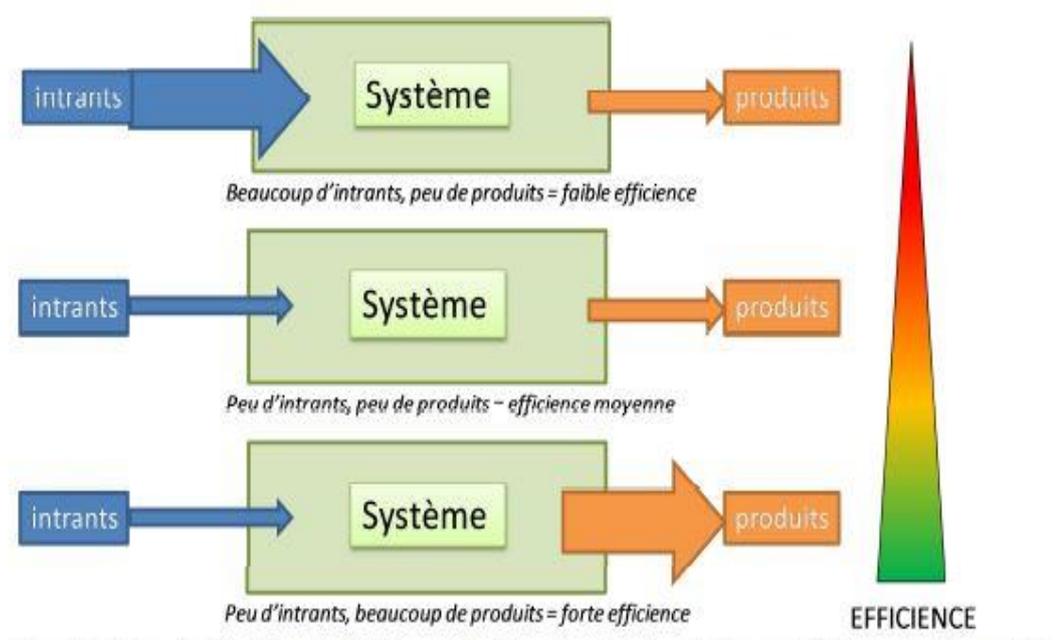
Caractéristiques du Système de culture 4 IRRIGUE + Elevage		Caractéristiques parcelles		Partie commune - Vision d'avenir de l'agriculteur		Vision d'avenir de l'agriculteur	
		Caractéristiques parcelles					
Caractéristiques parcelles	Avez-vous des <b>parcelles en pente</b> ?	<input type="checkbox"/> Oui, > 5 % de pente: (cultures et nb parcelles).....		<b>Partie commune - Vision d'avenir de l'agriculteur</b> Etes-vous <b>satisfait des conditions actuelles de production</b> ? <input type="checkbox"/> Oui, je suis plutôt satisfait des rendements et des débouchés pour mes productions <input type="checkbox"/> Non, je ne suis pas satisfait de mes rendements, po..... <input type="checkbox"/> Non, je ne suis pas satisfait des débouchés de mes productions (prix de vente, filière, etc...) pour:..... <input type="checkbox"/> Autres:.....	...dont <b>PPAM</b> dans vos rotations ?	<input type="checkbox"/> Oui, à conditions que ..... et telles cultures:..... <input type="checkbox"/> Non, car:.....	
	Avez-vous des <b>problèmes d'érosion</b> sur vos parcelles en général ?	<input type="checkbox"/> Oui, pour la plupart de mes parcelles (>75 % des parcelles) <input type="checkbox"/> Oui, plusieurs parcelles sont concernées (entre 25 et 75 %) <input type="checkbox"/> Oui, pour quelques rares parcelles (moins de 25%) <input type="checkbox"/> Non			... <b>arboriculture</b> dans vos parcelles ?	<input type="checkbox"/> Oui, à conditions que ..... et telles cultures:..... <input type="checkbox"/> Non, car:.....	
	Avez-vous des <b>problèmes de sécheresse</b> sur vos parcelles en général (assèchement trop rapide)?	<input type="checkbox"/> Oui, pour la plupart de mes parcelles (>75 % des parcelles) <input type="checkbox"/> Oui, plusieurs parcelles sont concernées (entre 25 et 75 %) <input type="checkbox"/> Oui, pour quelques rares parcelles (moins de 25%) <input type="checkbox"/> Non			Etes-vous <b>actuellement en sous effectif</b> pour le travail à fournir ? <input type="checkbox"/> Oui, absolument, nous devons compenser par beaucoup d'heures de travail par personne <input type="checkbox"/> Oui, mais seulement lors des pics de travail <input type="checkbox"/> Non, nous ne nous sentons pas surmenés	Seriez-vous <b>intéressé</b> par des programmes d'implantation de haies ? <input type="checkbox"/> Oui, j'aimerais prochainement en implanter <input type="checkbox"/> Oui, mais <b>uniquement si aide au financement</b> par des programmes (ex: PNRV avec financement par l'Occitane en Provence) <input type="checkbox"/> Oui, mais <b>uniquement si accompagnement techniq</b> est possible <input type="checkbox"/> Non, cela ne m'intéresse pas pour le moment	
	Vos parcelles sont-elles à proximité de bornes d'irrigation ?	<input type="checkbox"/> Oui: Nb de parcelles :..... <input type="checkbox"/> Non : Nb de parcelles :.....					Charge de travail : A l'avenir, souhaitez-vous plutôt <b>intensifier le travail sur l'exploitation ou au contraire, cherchez-vous à diminuer le travail général sur l'exploitation</b> ? <input type="checkbox"/> Intensifier la charge de travail sur l'exploitation, ET employer de la main d'oeuvre supplémentaire. <input type="checkbox"/> Intensifier la charge de travail sur l'exploitation, SANS main d'oeuvre supplémentaire <input type="checkbox"/> Garder même charge de travail sur l'exploitation, ET employer de la main d'oeuvre supplémentaire <input type="checkbox"/> Réduire la charge de travail sur l'exploitation SANS main d'oeuvre supplémentaire (ex: diminuer surface, nouveau matériel agricole, etc...) <input type="checkbox"/> Je ne souhaite pas changer mon système de travail à l'avenir
	Connaissez-vous les taux de MO de vos parcelles ?				Seriez-vous <b>prêt à diversifier vos cultures à l'avenir</b> ? Si oui, à quelles conditions ? Si non, pourquoi ? <input type="checkbox"/> Oui, à conditions que ..... et pour introduire telles cultures:..... <input type="checkbox"/> Non, car:.....	Avez-vous des <b>idées/ des pistes pour améliorer la qualité des sols et/ou diminuer le dépérissement du lavandin</b> ? <input type="checkbox"/> Oui, souvent <input type="checkbox"/> Oui, mais rarement <input type="checkbox"/> Non, jamais <input type="checkbox"/> J'en voyais davantage avant <input type="checkbox"/> Pas de différences entre avant et après	
	Biodiversité	Avez-vous <b>des haies autour</b> ou dans vos parcelles ?	<input type="checkbox"/> Oui, sur la plupart de mes parcelles (>50%) <input type="checkbox"/> Oui, sur une partie de mes parcelles seulement (<50%) <input type="checkbox"/> Non				
<b>SI PRESENCE DE HAIES</b> : Irriguez-vous ou avez-vous déjà irrigué vos haies ?		<input type="checkbox"/> Oui, haies irriguées à certaines périodes de l'année <input type="checkbox"/> Oui, mais uniquement à l'implantation des haies <input type="checkbox"/> Non					
Seriez-vous prêt à irriguer/continuer d'irriguer des haies sur vos parcelles ?		<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non					
Avez-vous des <b>zones boisées</b> autour ou dans vos parcelles ?		<input type="checkbox"/> Oui, sur la plupart de mes parcelles (>50%) <input type="checkbox"/> Oui, sur une partie de mes parcelles seulement (<50%) <input type="checkbox"/> Non					
Biodiversité	Avez-vous des <b>fossés</b> autour de vos parcelles ?	<input type="checkbox"/> Oui, autour de la plupart de mes parcelles (>50%) <input type="checkbox"/> Oui, autour d'une partie de mes parcelles seulement (<50%) <input type="checkbox"/> Non		Lavandin - Blé dur <b>SI LAVANDIN</b> : Face à l' <b>augm. des surfaces de lavandin sur le plateau et suppression des quotas de commercialisation</b> (risque de surproduction), pensez-vous changer vos surfaces / vos pratiques sur lavandin ? <input type="checkbox"/> Oui, à conditions que ..... et telles cultures:..... <input type="checkbox"/> Non, car:.....	<b>SI BLE DUR</b> : Face à <b>instabilité des prix mondiaux des céréales et évolution de la PAC</b> , pensez-vous changer vos surfaces / vos pratiques sur blé dur ? <input type="checkbox"/> Oui, à conditions que ..... et telles cultures:..... <input type="checkbox"/> Non, car:.....		
		Vision d'avenir de l'agriculteur		Diversification des cultures			
		Conditions de travail		Diversification des cultures			

## Annexe 10 : Efficiences en intrants

Extrait du rapport d'étude des étudiants de l'option Production Végétale Durable de Montpellier Supagro, pour expliquer l'indicateur d'efficacité biologique.

« Un indicateur d'efficacité est ainsi considéré comme un **ratio sortant/entrant** qui délivre une information sur l'utilisation de l'intrant. Chaque efficacité présente un intérêt pour l'étude d'un impact environnemental, social ou économique lié à un intrant. Comme ces impacts ne sont pas toujours directement mesurables (ex. toxicité d'un produit), on aura recours à des indicateurs. Les indicateurs sont des variables plus faciles d'accès, qui seront corrélés à la variable d'intérêt et pourront « indiquer » son état.

L'efficacité biologique (notée E<sub>bio</sub>) est le rapport entre le rendement de la culture et la quantité d'intrant apporté. Cette efficacité sera propre à une culture et indiquera la qualité de la conversion de l'intrant en biomasse.(...) »



**Figure A10 : Illustration du concept d'efficacité d'utilisation des intrants**

*Source : Etudiants PVD, 2014*

Source : Etudiants de l'option Production Végétale Durable de Montpellier Supagro, 2014, Etude sur l'efficacité des intrants et leur rôle dans la durabilité des Systèmes Agricoles face aux changements globaux, Rapport d'étude

## **Annexe 11 : Résumés des cultures permises par l'irrigation d'après les enquêtes**

*Tableau A11- 1: Récapitulatif des cultures permises par l'irrigation pour la catégorie Lavandin-Céréales*

<b>Cultures conduites exclusivement au sec</b>	<b>Cultures conduites au sec et/ou à l'irrigation</b>	<b>Cultures à l'irrigation seulement</b>
Pois et Pois chiche	Lavandin	Fenouil
Orge	Blé dur	Pommes
Coriandre	Sauge	Colza semences
Colza	Immortelle	Betterave semences
Truffière		Coriandre semences
Sainfoin		Tournesol semences
Vigne		Pépinières

*Tableau A11 -2 : Récapitulatif des cultures permises par l'irrigation pour la catégorie Elevage*

<b>Cultures conduites exclusivement au sec</b>	<b>Cultures conduites au sec et/ou à l'irrigation</b>	<b>Cultures à l'irrigation seulement</b>
Sainfoin	Lavandin	Sorgho + Trèfle
Blé tendre	Luzerne	Ray-Grass
Orge	Blé dur	Pois chiche
Avoine		
Colza		
Sauge		
Coriandre		
Prairies annuelles		

## Annexe 12 : Tableau récapitulatif des élevages rencontrés sur le plateau

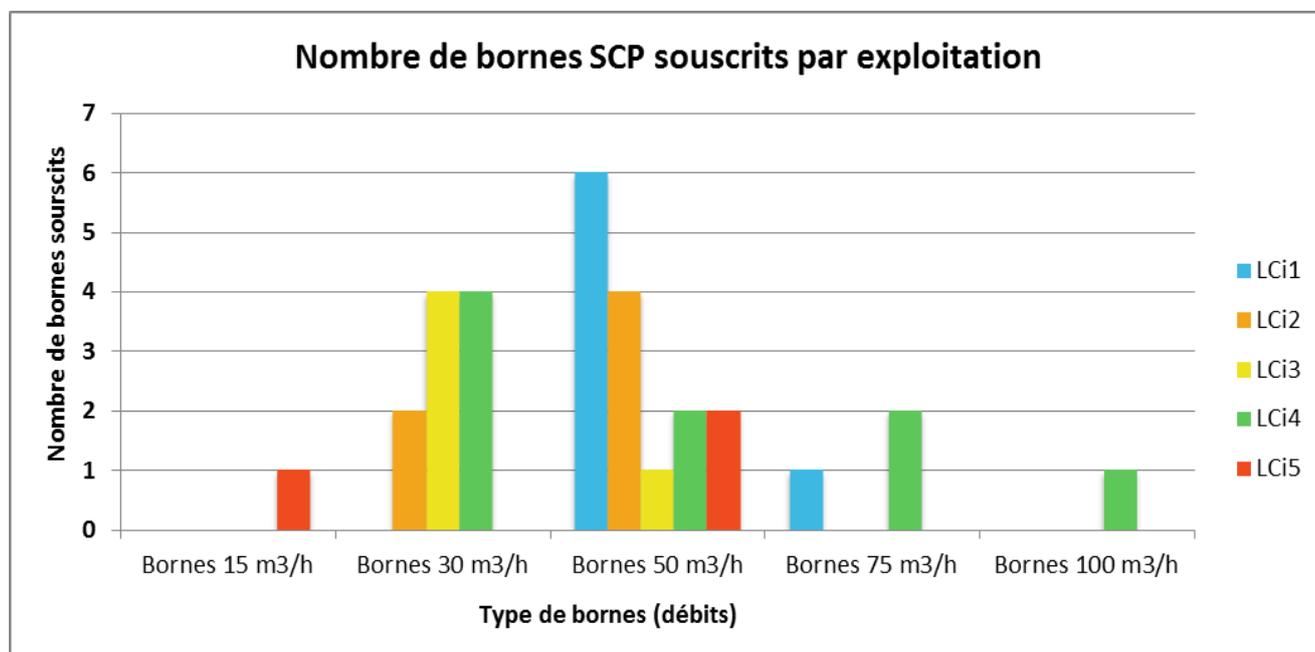
*Tableau A12 : Extrait du tableau de recensement Agreste de 2000 et 2010 sur le plateau de Valensole pour l'élevage*

			Chèvres		Brebis nourrices		Brebis laitières		Poulets de chair et coq	
			Cheptel correspondant		Cheptel correspondant		Cheptel correspondant		Cheptel correspondant	
Région	Département	Commune	2000	2010	2000	2010	2000	2010	2000	2010
93 - Région	04 - Alpes-	04004 - Allemagne-en-Provence	s	s	470	s		s	s	s
93 - Région	04 - Alpes-	04035 - Brunet	s		s					
93 - Région	04 - Alpes-	04081 - Esparron-de-Verdon	s		s	s		s	52	
93 - Région	04 - Alpes-	04124 - Montagnac-Montpezat	s		s	950		180		
93 - Région	04 - Alpes-	04135 - Moustiers-Sainte-Marie	14	s	1 319	1 976			s	
93 - Région	04 - Alpes-	04157 - Puimoisson				s			s	
93 - Région	04 - Alpes-	04158 - Quinson	s	s	s	557			s	
93 - Région	04 - Alpes-	04166 - Riez	s		s				36	
93 - Région	04 - Alpes-	04172 - Roumoules	68		s	s			s	
93 - Région	04 - Alpes-	04176 - Sainte-Croix-du-Verdon	s		s					
93 - Région	04 - Alpes-	04184 - Saint-Jurs	s		836	412			s	
93 - Région	04 - Alpes-	04186 - Saint-Laurent-du-Verdon	s		s					
93 - Région	04 - Alpes-	04189 - Saint-Martin-de-Brômes	s		s	s		s	s	
93 - Région	04 - Alpes-	04230 - Valensole	283	162	810	1 332		s		76

Source : Agreste, <http://agreste.agriculture.gouv.fr/page-d-accueil/article/donnees-en-ligne>

## **Annexe 13 : Répartition des souscriptions aux bornes d'irrigation**

Répartition du nombre et du type de bornes SCP souscrits par les agriculteurs de la catégorie Lavandin-Céréales irriguée : données récoltées suite aux enquêtes terrain.



*Figure A13 : Diagramme de répartition des souscriptions aux bornes selon les types de systèmes de culture*

## **Annexe 14 : Provenance de l'eau**

**Catégorie Lavandin-Céréales** : Toutes les exploitations irriguées de cette catégorie ont accès à un réseau d'irrigation SCP. Les exploitations ont souscrits en moyenne à 6 bornes SCP au total (entre 3 et 9 bornes) et les 2 débits de bornes les plus souscrits sont ceux à 30 m<sup>3</sup>/h et 50 m<sup>3</sup>/h. (débits relativement faibles). La pérennité de leur ressource en eau est donc importante, puisque l'eau provient directement du lac de Sainte-Croix, réserve d'eau importante gérée par la SCP (volume d'eau de 760 millions de m<sup>3</sup>) et qui est considérée en bon état écologique et chimique (EAURMC, 2009).

**Catégorie Elevage** : Parmi les éleveurs irrigants, un d'entre eux a souscrit au réseau SCP (7 bornes) et l'autre, n'étant pas dans la zone desservie, a pu avoir de l'eau grâce à une retenue collinaire personnelle. Ce dernier est donc dépendant des précipitations pour le remplissage de la retenue. Cependant, il a exprimé lors des enquêtes manquer d'eau avec cette retenue lors de sécheresse et il est aujourd'hui en demande d'un accès au réseau.

**Catégorie Arboriculture** : L'arboriculteur enquêté n'a pas non plus accès au réseau SCP de par sa localisation géographique. Il a donc fait creuser deux forages il y a quelques années pour pallier à la sécheresse sur une partie de son exploitation (amandes). Il attend cependant le nouveau réseau d'irrigation pour le reste de ses amandes et pour ses oliviers qui sont éloignés de ses forages. La qualité et la pérennité de sa ressource en eau actuelle peuvent donc varier selon le climat et selon la contamination par des pollutions agricoles (nitrates, produits phytosanitaires).

**Catégorie Maraichage** : Enfin, le maraicher enquêté n'a pas non plus souscrit au réseau SCP, bien que présent sur la zone desservie. En effet, une source d'eau superficielle coule à proximité de ses parcelles. Il a donc établi un réseau d'irrigation gravitaire provenant de cette source, en creusant à même la terre du sol et autour de chaque culture des chemins (raies) où l'eau s'écoule. Un système de trappes en amont des chemins lui permet de choisir l'itinéraire pris par l'eau et sa durée d'écoulement. Il arrose chaque culture en moyenne deux fois par semaine, en laissant l'eau s'écouler dans les raies entourant la culture pendant une heure environ, afin que le sol soit saturé en humidité. Le surplus d'eau s'infiltré ensuite dans la nappe phréatique.

## Annexe 15 : Matériel d'irrigation et outils de mesures

*Tableau A15-1: Matériel d'irrigation utilisé sur les exploitations ayant accès à l'eau*

Systèmes de culture	Type de matériel d'irrigation sur l'exploitation			
	Enrouleurs	Pivots	Autre matériel d'irrigation	Tarif IEP
LCi1	Oui, plusieurs	Non	Micro-asperseurs (pommiers)	Non
LCi2	Oui, plusieurs	Non	Non	Oui, une partie des bornes
LCi3	Oui, plusieurs	Non	Non	Oui, une partie des bornes
LCi4	Oui, plusieurs	Oui, un	Micro-asperseurs (pommiers)	Oui, une partie des bornes
LCi5	Oui, plusieurs	Non	Non	Oui, une partie des bornes
Ei1	Oui, plusieurs	Non	Non	Oui, une partie des bornes
Ei2	Oui, un	Non	Non	/
Ai1	Non	Non	goutte à goutte de surface (5ha), aspersion (5ha)	/

*Tableau A15-2: Paramètres et outils de mesure pour décider quand arroser*

Système de culture	Paramètres pour décider quand arroser
LCi1	expérience agriculteur + suivi meteo + outils de mesures
LCi2	expérience agriculteur + suivi meteo
LCi3	expérience agriculteur + suivi meteo
LCi4	expérience agriculteur + suivi meteo + outils de mesures + bulletin SCP
LCi5	expérience agriculteur + suivi meteo
Ei1	expérience agriculteur + suivi meteo
Ei2	expérience agriculteur + suivi meteo
Ai1	expérience agriculteur + suivi meteo

## **Annexe 16 : Avis sur le goutte à goutte**

Malgré plusieurs expérimentations, très peu d'agriculteurs du plateau, toute catégorie confondue, sont aujourd'hui intéressés par des systèmes d'irrigation au goutte à goutte. Le goutte à goutte de surface, qui aurait pu être envisagé sur des cultures en ligne, est souvent perçu comme non adapté aux travaux agricoles du lavandin, comme le binage ou encore lors de la récolte (risque de destruction des gaines, etc...). De plus, ce système ne serait pas adapté au semis de céréales et devrait donc être déplacé lors des rotations (coût et temps de travail trop important). En outre, l'arboriculteur qui a une partie de ses amandes en goutte à goutte de surface explique la difficulté qu'il a à maintenir ses gaines en bon état. Il a dû en effet suspendre les gaines d'irrigation à cause des dégâts liés aux passages de sangliers et pour les différents travaux agricoles, comme le broyage du couvert sous les arbres. Le goutte à goutte enterré suscite davantage de curiosité par les agriculteurs, pour les PPAM cultivées en ligne notamment, mais beaucoup de questions se posent quant à la diffusion de l'eau dans les sols, avec un faible taux de matière organique en profondeur (risque de manque d'eau au niveau des racines).

*Tableau A16: Verrous du passage au goutte à goutte selon les systèmes de culture*

<b>Système de culture</b>	<b>Verrous passage au goutte à goutte</b>
LCi1	destruction par sangliers + empeche travail du sol + non adapté aux cultures
LCi2	non adapté aux cultures + doute sur pérenité du matériel
LCi3	Coût + manque de recul pour les cultures
LCi4	non adapté aux cultures + manque de recul pour les cultures
LCi5	non adapté aux cultures + manque de recul pour les cultures
Ei1	destruction par sangliers + empeche travail du sol
Ei2	non adapté aux cultures
Ai1	non adapté aux cultures + doute sur pérenité du matériel

## Annexe 17 : Description des rotations-cadres étudiées

**Tableau A17: Description des rotations type étudiées pour chaque catégorie de systèmes de culture.**

(Le nombre d'année de chaque culture dans la rotation est indiqué entre parenthèses.)

	Systèmes de culture	Rotation étudiée (ou Cultures pérennes étudiées)
<b>Lavandin-Céréales SEC</b>	LCs1	Lavandin (8) - Blé dur (2) - Pois (1) - Blé dur (2) - Coriandre (1)
	LCs2	Lavandin (10) - Blé dur (2) - Sauge (3) - Blé dur (1)
	LCs3	Lavandin (6) - Blé dur (2) - Coriandre (1) - Blé dur (1) - Sainfoin (2) - Blé dur (1)
	LCs4	Lavandin (7) - Blé dur (1) - Pois (1) - Blé dur (1)
	LCs5	Lavandin (8) - Blé dur (1) - Tournesol (1) - Blé dur (1) - Pois (1) - Orge (1) - Sainfoin (2)
<b>Lavandin-Céréales IRRIGUE</b>	LCi1	Lavandin irrigué (8) - Blé dur irrigué (2) - Fenouil irrigué (3) - Blé dur irrigué (2)
	LCi2	Lavandin irrigué (8) - Blé dur (1) - Colza (1) - Blé dur (1) - Pois (1) - Blé dur (1) - Tournesol (1)
	LCi3	Lavandin irrigué (8) - Blé dur (1) - Orge (1) - Blé dur (1) - Pois (1)
	LCi4	Lavandin irrigué (8) - Blé dur (1) - Betterave semence irriguée (1) - Blé dur (1)
	LCi5	Lavandin irrigué (8) - Blé dur irrigué (2) - Sauge irriguée (3) - Blé dur irrigué (1)
<b>Elevage SEC</b>	Es1	Ble tendre (1) - Orge (1) - Avoine (3) - Sainfoin (3) - Luzerne (4)
<b>Elevage IRRIGUE</b>	Ei1	Blé dur irrigué (1) - Ray-Gras irrigué (1) - Luzerne irriguée (5)
	Ei2	Blé dur (1) - Luzerne irriguée (5) - Sainfoin (3)
<b>Arboriculture SEC</b>	As1	Amandes et Oliviers
<b>Arboriculture IRRIGUEE</b>	Ai1	Amandes irriguées

## Annexe 18 : Exemple d'itinéraires techniques de certaines cultures des rotations-cadres étudiées

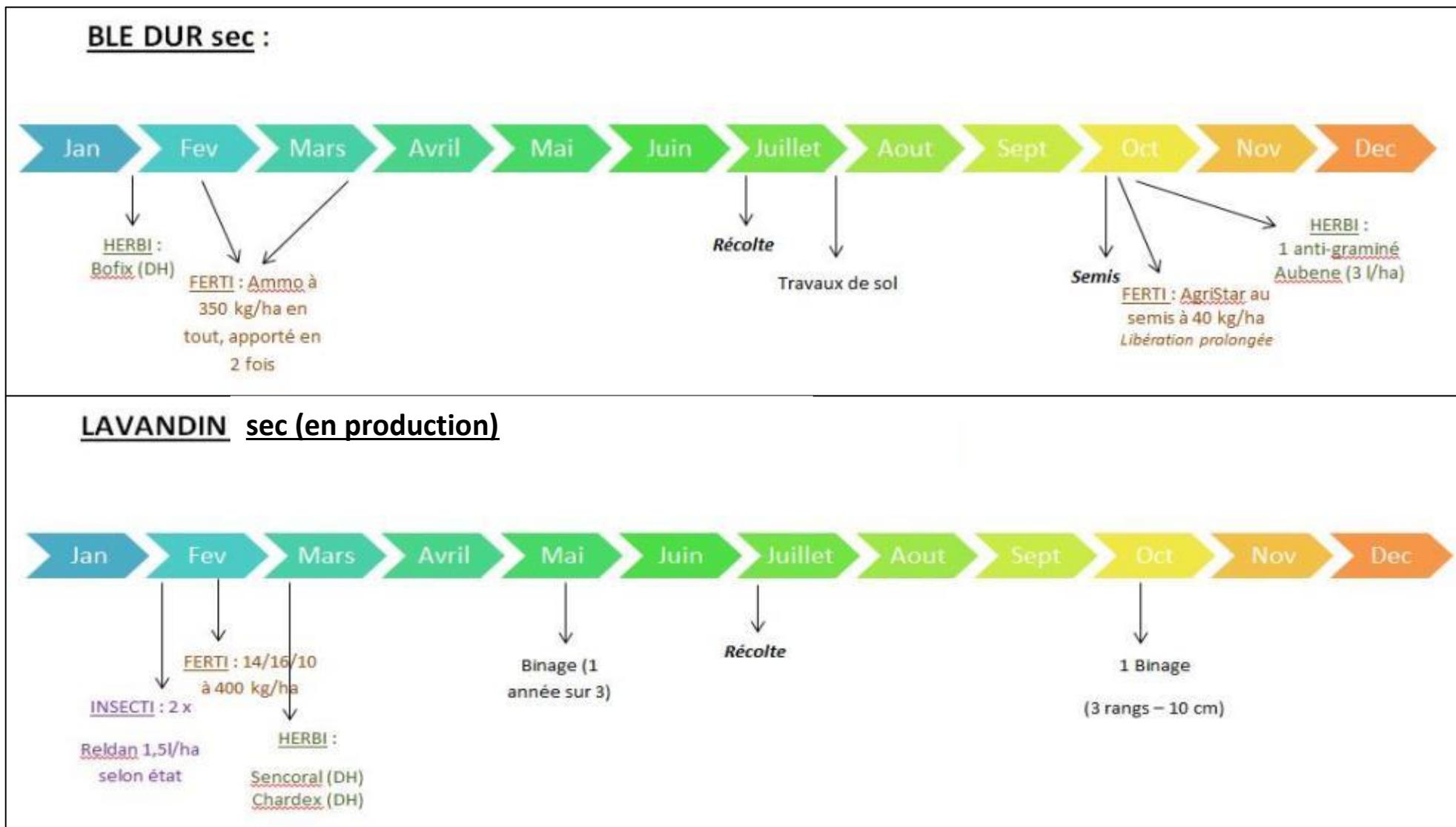


Figure A18-1: Exemple d'itinéraires techniques pour le blé dur sec et le lavandin sec (DH = dose homologuée)

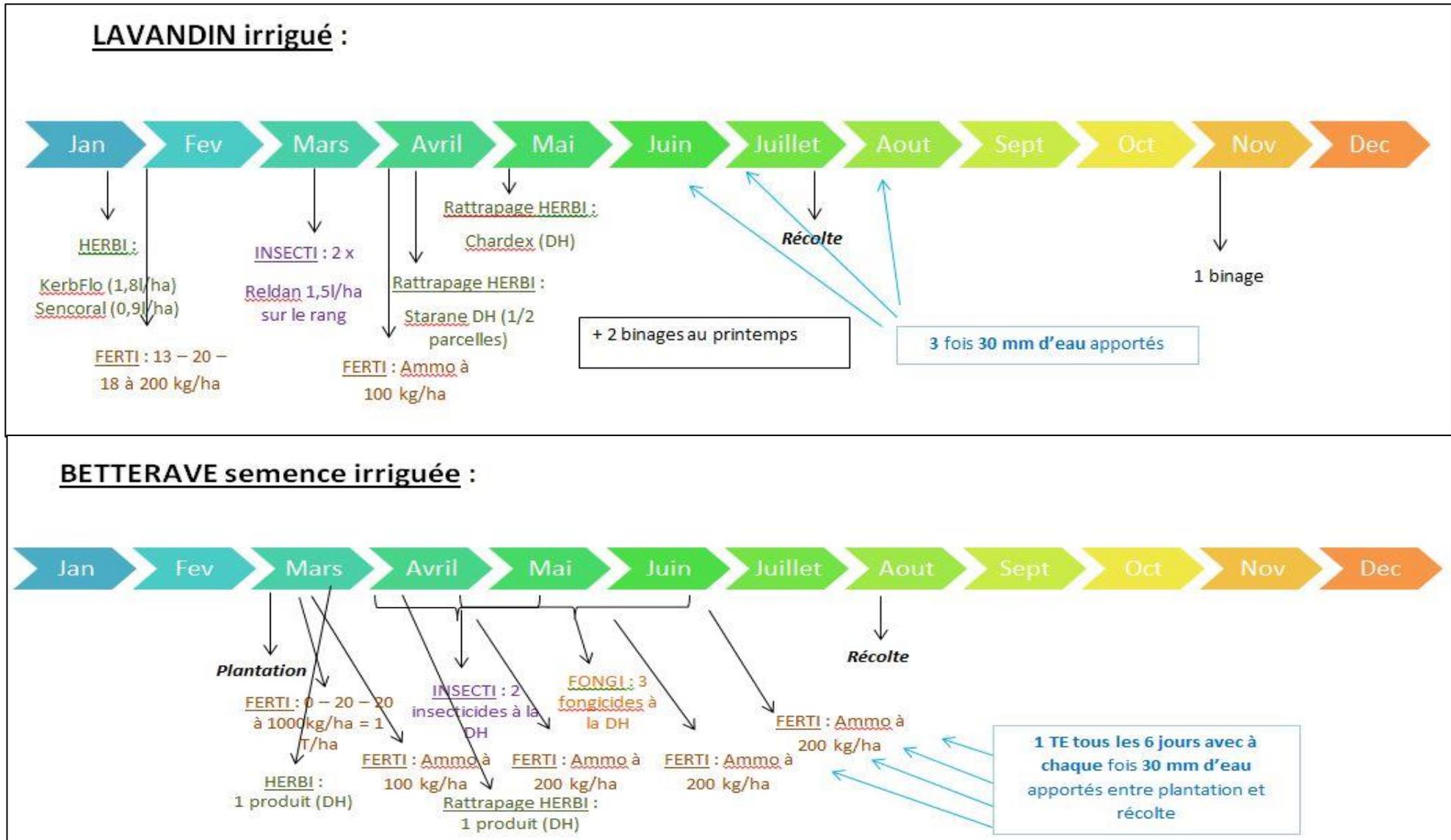


Figure A18-2: Exemple d'itinéraires techniques pour le lavandin irrigué et la betterave semence irriguée (DH = dose homologuée)

## Annexe 19 : Efficiences d'utilisation des intrants et densité de plantation du lavandin et du blé dur

ID systeme de culture	Id exploitation	Culture	Rendement	Unite rendement	Densite semee plantee	Unité densité	IFT insecti	IFT fongi	IFT herbi	ITF totaux	Efficiencce utilisation phytos	Dose azote totale apportee (kgN/ha)	Dose azote disponible apporté	Efficiencce utilisation azote
LCs1	E1	Lavandin_sec	120	kg_HE/ha	non communiqué		1	0	2,5	3,5	<b>34,3</b>	59,5	59,5	<b>2,02</b>
LCi1	E1	Lavandin_irrigue	200	kg_HE/ha	<b>7500</b>	plants/ha	1	0	2,5	3,5	<b>57,1</b>	59,5	59,5	<b>3,36</b>
LCs2	E2	Lavandin_sec	150	kg_HE/ha	<b>7500</b>	plants/ha	2	0	3	5	<b>30</b>	67,7	59,5	<b>2,52</b>
LCs3	E3	Lavandin_sec	100	kg_HE/ha	<b>7500</b>	plants/ha	2	0	2	4	<b>25</b>	56	56	<b>1,79</b>
LCs4	E4	Lavandin_sec	110	kg_HE/ha	<b>7000</b>	plants/ha	0	0	2	2	<b>55</b>	49	49	<b>2,24</b>
LCs5	E5	Lavandin_sec	80	kg_HE/ha	non communiqué		2	0	2	4	<b>20</b>	42	42	<b>1,9</b>
LCi2	E6	Lavandin_irrigue	120	kg_HE/ha	<b>7000</b>	plants/ha	1,5	0	1	2,5	<b>48</b>	59,5	59,5	<b>2,02</b>
LCi3	E7	Lavandin_irrigue	130	kg_HE/ha	non communiqué		2	0	3,5	5,5	<b>23,6</b>	45	45	<b>2,89</b>
LCi4	E8	Lavandin_irrigue	180	kg_HE/ha	<b>7300</b>	plants/ha	2	0	1,5	3,5	<b>51,43</b>	68,5	68,5	<b>2,63</b>
LCi5	E9	Lavandin_irrigue	150	kg_HE/ha	<b>7500</b>	plants/ha	2	0	2,5	4,5	<b>33,3</b>	49	49	<b>3,06</b>

*Tableau A19-1: Résumés des efficiences d'utilisation d'intrants et de densités de plantation des lavandins étudiés*

ID systeme de culture	Id exploitation	Culture	Rendement	Unite rendement	Densite semee plantee	Unité densité	IFT insecti	IFT fongi	IFT herbi	ITF totaux	Efficiencce utilisation phytos	Dose azote totale apportee (kg N/ha)	Dose azote disponible apporté (kgN/ha)	Efficiencce utilisation azote
LCs1	E1	Ble_dur_sec	35	q/ha	320	graines/m <sup>2</sup>	0	0,5	2,3	2,8	12,5	170,2	170,2	0,21
LCi1	E1	Ble_dur_irrigue	65	q/ha	400	graines/m <sup>2</sup>	0	0,75	2,3	3,05	21,3	206,4	206,4	0,31
LCs2	E2	Ble_dur_sec	43	q/ha	130	kg_semences/ha	0	0	2	2	21,5	164	164	0,26
LCs3	E3	Ble_dur_sec	35	q/ha	130	kg_semences/ha	0	0	2	2	17,5	164,9	164,9	0,21
LCs4	E4	Ble_dur_sec	40	q/ha	180	kg_semences/ha	0	0	2	2	20	138,8	138,8	0,29
LCs5	E5	Ble_dur_sec	35	q/ha	non communiqué		0	0	2	2	17,5	117,3	117,3	0,3
LCi2	E6	Ble_dur_sec	35	q/ha	non communiqué		0	0,3	2	2,3	15,2	121,8	121,8	0,29
LCi3	E7	Ble_dur_sec	35	q/ha	non communiqué		0	0	2	2	17,5	137,5	137,5	0,25
LCi4	E8	Ble_dur_sec	30	q/ha	180	kg_semences/ha	0	0	2	2	15	121,25	121,25	0,25
LCi5	E9	Ble_dur_irrigue	50	q/ha	non communiqué		0	0	2	2	25	185,75	161,25	0,31
Ei1	E10	Ble_dur_irrigue	60	q/ha	non communiqué		0	0,5	2	2,5	24	187	187	0,32
Ei2	E11	Ble_dur_sec	25	q/ha	non communiqué		0	0	1	1	25	150,75	150,75	0,17

*Tableau A19-2: Résumés des efficiences d'utilisation d'intrants et de densités de plantation des blés durs étudiés*

## Annexe 20 : Enherbement des parcelles en plantes pérennes et semi-pérennes

*Tableau A20: Récapitulatif des gestions d'enherbement des cultures pérennes ou semi-pérennes*

Culture	Système de culture	Enherbement rang	Enherbement interang	Type enherbement	Enfouissement résidus culture	Enfouissement résidus couvert
<i>Lavandin Sec</i>	LCs1	non	non	absent	non	non
	LCs2	non	non	absent	non	non
	LCs3	non	<b>oui</b>	<b>semé</b>	non	<b>oui</b>
	LCs4	non	non	absent	non	non
	LCs5	non	non	absent	non	non
<i>Lavandin Irrigué</i>	LCi1	non	non	absent	non	non
	LCi2	non	non	absent	non	non
	LCi3	non	non	absent	non	non
	LCi4	non	non	absent	non	non
	LCi5	non	non	absent	non	non
<i>Amandes Sec</i>	As1	<b>oui</b>	<b>oui</b>	<b>spontané</b>	<b>oui</b>	<b>oui</b>
<i>Amandes Irriguées</i>	Ai1	<b>oui</b>	<b>oui</b>	<b>spontané</b>	<b>oui</b>	<b>oui</b>
<i>Oliviers Sec AB</i>	As1	<b>oui</b>	<b>oui</b>	<b>spontanne</b>	<b>oui</b>	<b>oui</b>

## Annexe 21 : Comparaison de la main d'œuvre salariale et saisonnière des exploitations

*Tableau A21: Comparaison de la main d'œuvre salariale et saisonnière (en UTH et en UTA) des exploitations irriguées ou au sec*

<b>Exploitations irriguées</b>	Système de culture	Main oeuvre salariale (UTH)	Main oeuvre salariale (UTA)	Main oeuvre saisonnière (UTH)	Main oeuvre saisonnière (UTA)
	LCi1	0	0	<b>10</b>	<b>0,5</b>
	LCi2	0	0	<b>8</b>	<b>2,6</b>
	LCi3	0	0	<b>1</b>	<b>0,08</b>
	LCi4	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>15</b>	<b>1,5</b>
	LCi5	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0,1</b>
<b>Exploitations au sec</b>	Système de culture	Main oeuvre salariale (UTH)	Main oeuvre salariale (UTA)	Main oeuvre saisonnière (UTH)	Main oeuvre saisonnière (UTA)
	LCs2	<b>1</b>	<b>0,5</b>	<b>4</b>	<b>0,25</b>
	LCs3	0	0	<b>4</b>	<b>0,25</b>
	LCs4	0	0	0	0
	LCs5	0	0	0	0

## Annexe 22 : Résumé des visions d'avenir des agriculteurs enquêtés

*Tableau A22: Récapitulatif des visions d'avenir des agriculteurs*

ID système de culture	Id exploitation	Typologie exploitation	Evolution diversification PPAM	Type PPAM	Condition diversification PPAM	Evolution diversification Legumineuse	Type Legumineuse	Condition diversification legumineuses	Interet pour plantation de haies
LCs1	E1	LAV CERE sec	Oui	Immortelle	Irrigation	non	/	/	Pas interesse actuellement
LCi1	E1	LAV CERE irrigué	Oui	Immortelle	Irrigation	non	/	/	Pas interesse actuellement
LCs2	E2	LAV CERE sec	Oui	Menthe poivrée	Irrigation	Oui	Pois, Chanvre	Prix plus rémunérateurs, diminution sangliers	Pas interesse actuellement
LCs3	E3	LAV CERE sec	Oui	Menthe poivrée, Estragon	Irrigation	Non	/	/	Pas interesse actuellement
LCs4	E4	LAV CERE sec	Oui	Immortelle, Coriandre	Irrigation	Oui	Chanvre	Prix plus rémunérateurs, irrigation	Pas interesse actuellement
LCs5	E5	LAV CERE sec	Oui	Coriandre, Sauge, Immortelle	Irrigation	Oui	Chanvre	Prix plus rémunérateurs, irrigation	Oui interesse si financement
LCi2	E6	LAV CERE irrigué	Non	/	/	OUI	Chanvre, Lentilles	Prix plus rémunérateurs	Pas interesse actuellement
LCi3	E7	LAV CERE irrigué	Non	/	/	Non	/	/	Pas interesse actuellement
LCi4	E8	LAV CERE irrigué	Non	/	/	Non	/	/	Oui interesse si financement
LCi5	E9	LAV CERE irrigué	Non	/	/	Oui	Pois	Diminution sangliers, irrigation	Pas interesse actuellement
Ei1	E10	ELEVAGE irrigué	Oui	Immortelle	Irrigation	Non	/	/	Oui
Ei2	E11	ELEVAGE irrigué	Non	/	/	Oui	Fourrage	Irrigation	Oui interesse si financement
Es1	E12	ELEVAGE sec	Non	/	/	Non	/	/	Non
Ai1	E14	ARBORICULTURE irrigue	Non	/	/	Non	/	/	Non
As1	E14	ARBORICULTURE sec	Non	/	/	Non	/	/	Non
As2	E15	ARBORICULTURE sec	Oui	/	Irrigation	Oui	/	Irrigation	Non

## **Annexe 23 : Récapitulatif des modifications du rythme de travail à l'avenir :**

*Tableau A23: Récapitulatif des visions d'avenir des agriculteurs en termes de travail et de main d'œuvre*

	Modifications aspirées par les agriculteurs à l'avenir	Nb d'exploitations concernées/Nb d'exploitations totales
Lavandin- Céréales au sec	Embaucher Main d'Œuvre supplémentaire	3/4
	Augmenter Charge de Travail sur l'exploitation	3/4
Elevage au Sec	Embaucher Main d'Œuvre supplémentaire	1/1
	Augmenter Charge de Travail sur l'exploitation	0/1
Lavandin- Céréales irrigué	Embaucher Main d'Œuvre supplémentaire	1/5
	Augmenter Charge de Travail sur l'exploitation	0/5
	Réduire Charge de Travail sur l'exploitation	1/5
Elevage irrigué	Embaucher Main d'Œuvre supplémentaire	1/2
	Augmenter Charge de Travail sur l'exploitation	1/2
Arboriculture Irriguée	Embaucher Main d'Œuvre supplémentaire	1/1
	Augmenter Charge de Travail sur l'exploitation	1/1

**Annexe 24 : Schémas des cycles de l'eau, de l'azote et de la matière organique**

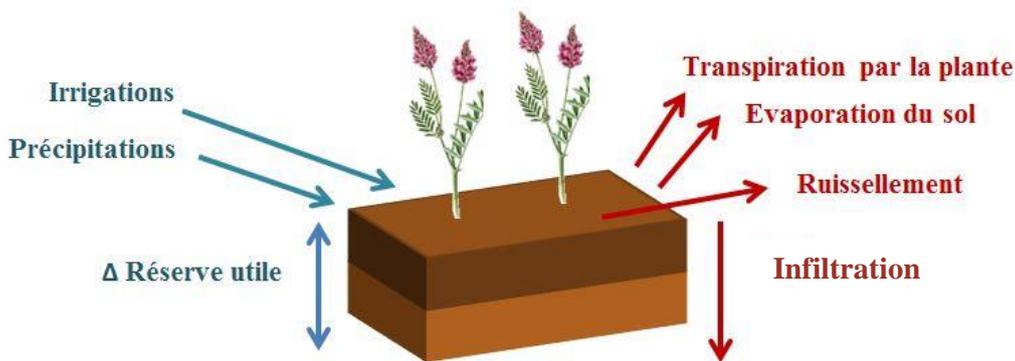


Figure A24-1 : Schéma du cycle de l'eau - (En bleu : les entrées et en rouge : les sorties)

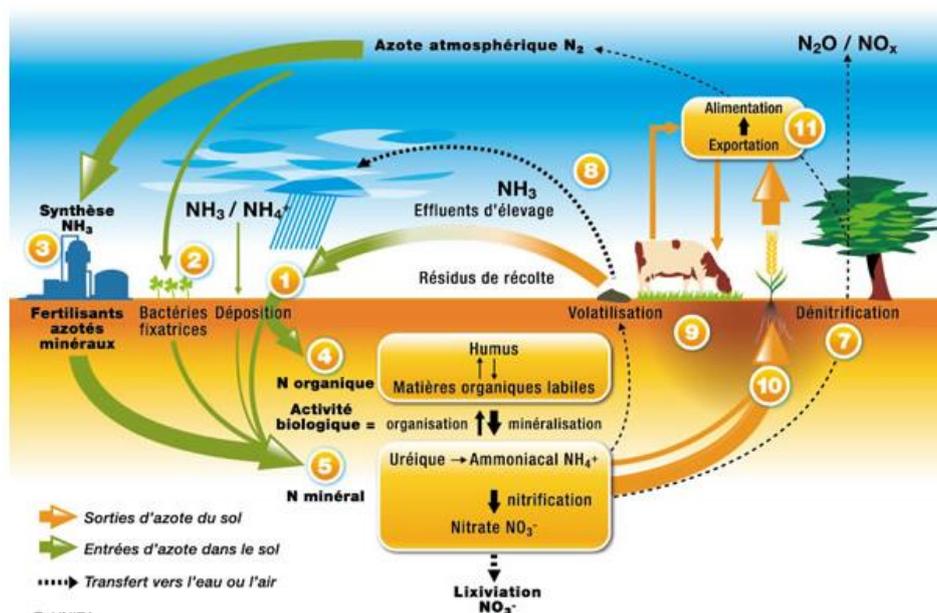


Figure A24-2 : Schéma du cycle de l'azote – Source : [www.fertilisation-edu.fr](http://www.fertilisation-edu.fr)

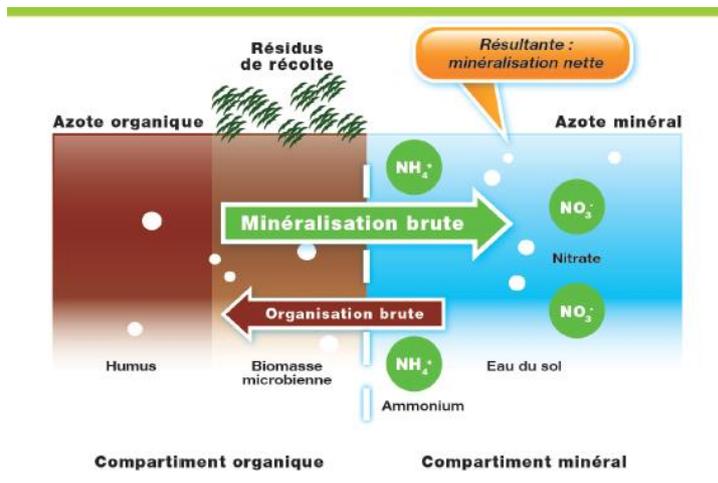
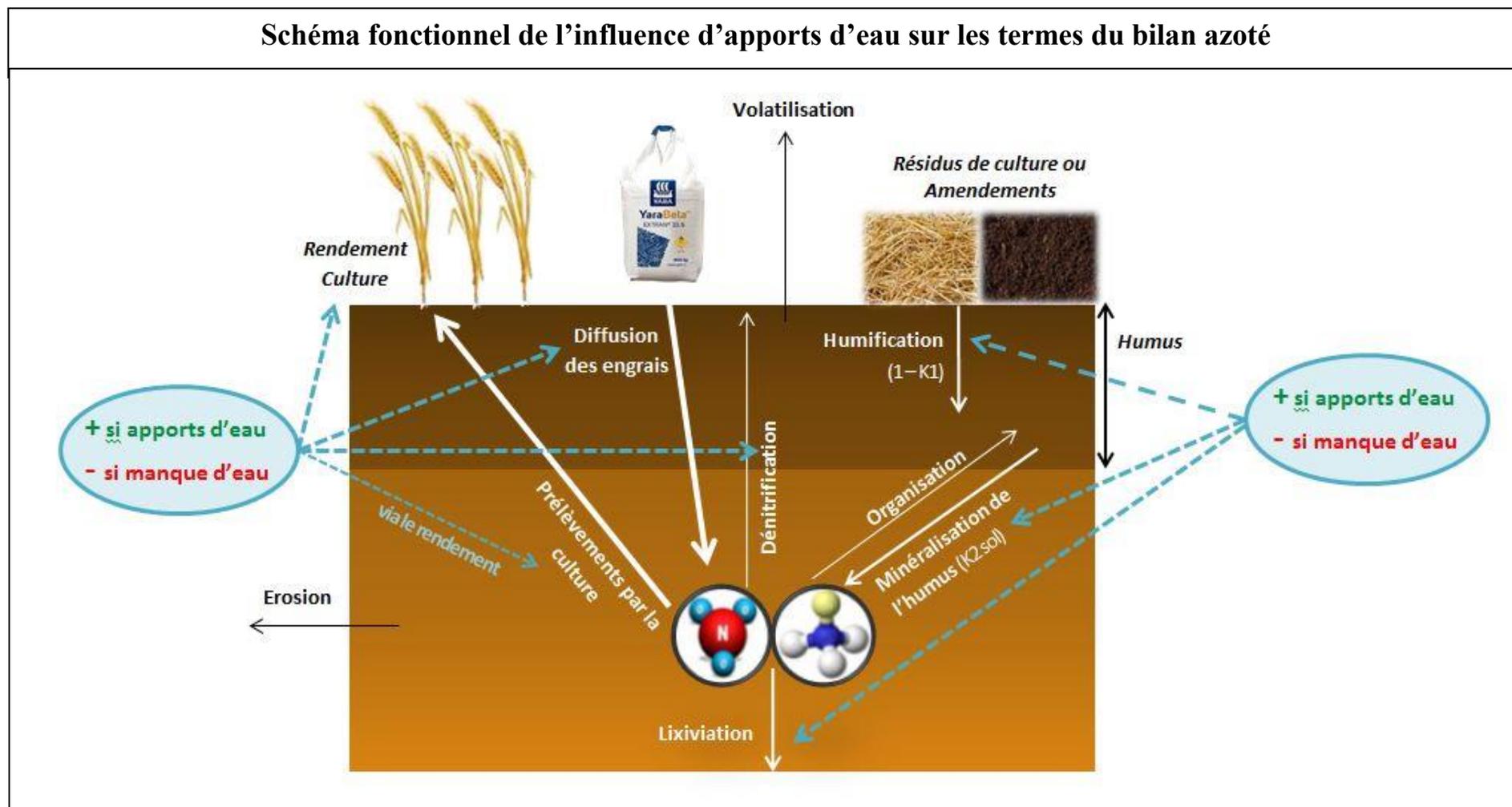


Figure A24-3 : Schéma du cycle de la matière organique – Source : [www.fertilisation-edu.fr](http://www.fertilisation-edu.fr)

**Annexe 25 : Schémas résumant l'influence de l'eau sur les termes du bilan azoté et du bilan hydrique**



**Figure A25-1 : Schéma de l'influence de l'eau sur les termes du bilan azoté**

## Schéma fonctionnel de l'influence d'apports d'eau sur les termes du bilan hydrique

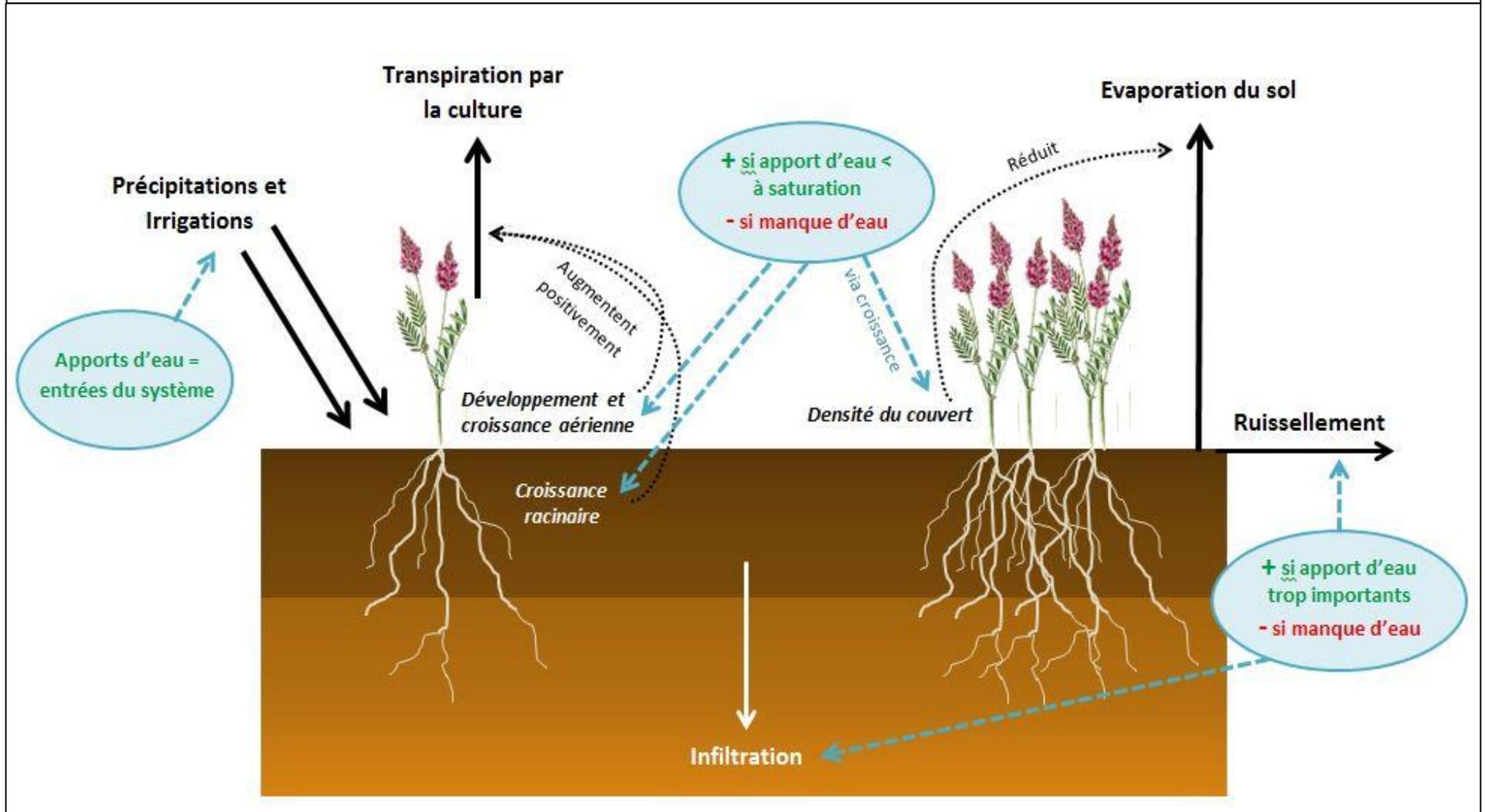


Figure A25-2 : Schéma de l'influence de l'eau sur les termes du bilan hydrique

## Annexe 26 : Détails des calculs et des références des exportations par les cultures en azote et des coefficients culturaux

- Pour **le lavandin**, la conversion des rendements (en kg d'huile essentielle par hectare) en kg d'azote exporté par ha (avec la récolte) a été calculée grâce aux données transmises par Eric CHAISSE du CRIEPPAM. La figure A26-1 ci-dessous résume les calculs effectués pour obtenir cette valeur après conversion. Les mêmes facteurs de conversion de rendement (en kg HE/ha) en teneur en azote de la plante (en kg d'N/ha) ont été attribués au **fenouil**, à défaut de données de référence sur la culture.

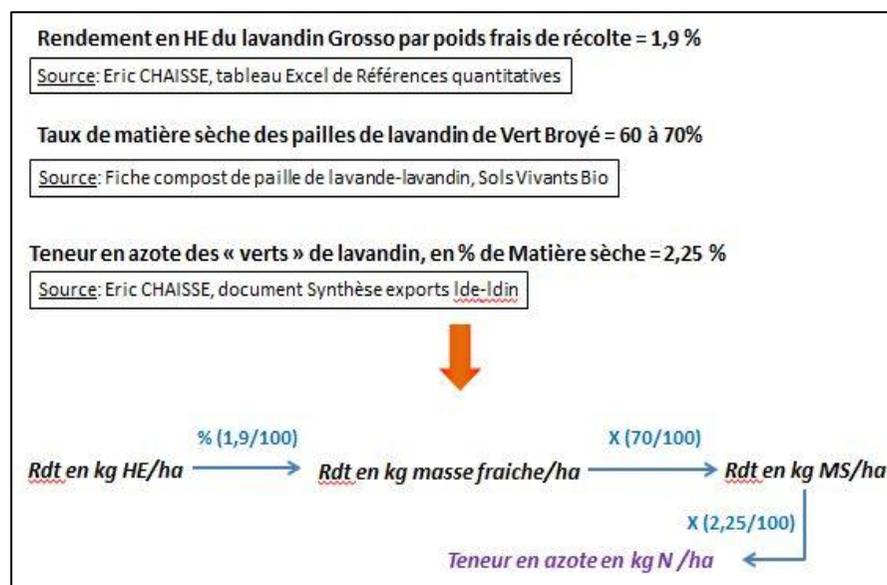


Figure A26 : Schéma explicatif de la conversion des rendements en lavandin et teneur en azote (en kg d'N/ha)

- Pour les **autres PPAM étudiées (coriandre et sauge)**, le taux de conversion qui permet de passer de rendement (en kg de matière sèche/ha) en teneur en azote de la plante (en kg d'N/ha) a été considérée être le même que celui du lavandin, faute d'autres valeurs de références.
- Cependant cette fois ci, les conversions qui permettent de passer en amont des rendements en huile essentielle (en kg d'huile essentielle/ha) en rendements secs (en kg de matière sèche/ha) ont été obtenus grâce à des informations du CRIEPPAM sur la sauge. Les informations n'étant pas disponible pour la coriandre, il a été considéré que la coriandre avait les mêmes taux de conversions que la sauge.

Détails du calcul pour la Sauge, d'après la fiche culturale « Sauge sclérée » du CRIEPPAM, disponible à l'adresse url suivante :  
<http://www.criepam.fr/publications/item/27-sauge-scleree-presentation-generale>

- 1 hectare de Sauge sclérée = 4 tonnes de biomasse en matière sèche = 12,5 tonnes de biomasse en matière fraîche.
- Rendement moyen de la sauge sclérée : 1 ha = environ 20 kg d'HE/ha
- ➔ 20 kg d'HE/ha équivalent à 12,5 tonnes de matière sèche par ha, **donc 1 kg d'HE/ ha équivaut à 625 kg/ha de matière fraîche**
- ➔ 12,5 tonnes de masse fraîche équivalent à 4 tonnes de masse sèche : **le facteur de conversion de kg de masse fraîche/ha en kg de masse sèche/ha est de 0,32**
  
- Pour **les céréales (blé dur, blé tendre, avoine, orge), le tournesol, et les cultures fourragères (ray-grass, sainfoin, luzerne)**, les facteurs de conversion pour passer des rendements en matière fraîche puis en matière sèche et enfin en exportations d'azote ont été trouvés grâce à une fiche informative de 2013 du COMIFER intitulée « TENEURS EN AZOTE DES ORGANES VEGETAUX RECOLTES », disponible à l'adresse url suivante : <http://www.comifer.asso.fr/images/publications/brochures/Table%20des%20exportations%20azote.pdf>
  
- Pour le **pois et le pois-chiche**, la même fiche du COMIFER a été utilisée, en complément d'une fiche du Comité national des Co-produits, qui a servi à estimer l'azote exporté en particulier par les pailles de la culture. Cette fiche est téléchargeable en format pdf à l'adresse suivante : <http://idele.fr/domaines-techniques/publication/idelesolr/recommends/paille-de-pois-proteagineux.html>
  
- Pour la **betterave semence**, les exportations d'azote ont été calculées grâce à des données d'une fiche culturale du COMIFER sur la betterave porte graine, consultable à l'adresse suivante : [http://www.comifer.asso.fr/images/pdf/Fiches\\_cultures/fiche-culture\\_betterave-porte-graine.pdf](http://www.comifer.asso.fr/images/pdf/Fiches_cultures/fiche-culture_betterave-porte-graine.pdf)
  - *Précisions du calcul* : à la récolte, on considère un rendement moyen de 180 quintaux de matière sèche de plante/ha, dont 27 quintaux de matière sèche (MS) de grains/ha. Les grains étant composés à 90 % de matière sèche (donnée confirmée par Fernand ROQUE, spécialiste en betterave semence en FNAMS), on peut alors simplifier la relation en dire qu'en général, les rendements sont de 80 quintaux/ha, dont 30 quintaux de matière fraîche de grains/ha.
  - Il est également indiqué des exportations d'environ 200 kg d'azote/ha lors d'une récolte (Source : Fiche culturale du COMIFER sur la betterave semence)  
On peut alors calculer un facteur de conversion de  $\frac{200 \text{ kg d'azote par ha}}{180 \text{ quintaux de MS}} = 1,1 \text{ kg d'azote par quintal de matière sèche de plante}$ .
  - Le rendement est exprimé par l'agriculteur en quintal de grains en matière fraîche.  
Il suffit alors de multiplier le rendement de l'agriculteur par le facteur  $\frac{180}{30}$  pour obtenir l'équivalent du rendement en quintaux de matière sèche de plante par hectare.

○ Les exportations d'azote issues de la récolte de la plante sont donc le rendement en masse sèche de la plante multiplié par 1,1 kg d'azote par quintal de matière sèche de plante (le facteur de conversion calculé plus haut)

- **Pour le colza**, la teneur en matière sèche du rendement a été trouvée grâce à la fiche du COMIFER de 2013 « TENEURS EN AZOTE DES ORGANES VEGETAUX RECOLTES ». La teneur en azote de la culture par kg de matière fraîche a quant à elle été trouvée grâce à une table des exportations par les cultures transmises par la chambre d'agriculture de Rhone-Alpes, disponible à l'adresse url suivante : [http://rhone-alpes.synagri.com/synagri/pj.nsf/TECHPJPARCLEF/06058/\\$File/exportation\\_cultures\\_juin08.pdf?OpenElement](http://rhone-alpes.synagri.com/synagri/pj.nsf/TECHPJPARCLEF/06058/$File/exportation_cultures_juin08.pdf?OpenElement)
- **Enfin pour les légumineuses**, l'hypothèse a été faite que 50% seulement de l'azote exporté lors de la récolte provenait de l'azote du sol : l'autre partie provient de l'azote atmosphérique, grâce à la symbiose des légumineuses avec la bactérie Rhizobium (Jacques Wery, communication personnelle)

Le tableau A26 ci-dessous résume les différents calculs réalisés par culture (avec des exemples) pour estimer les bilans apparents d'azote. Les cumuls d'unité d'azote ont été obtenu grâce aux itinéraires techniques des agriculteurs et à la composition chimique des engrais apportés. Les bilans apparents d'azote (ou solde CORPEN) ont été estimé pour 1 an de culture, puis ont été multiplié par la durée de chaque culture dans les rotations-cadres. Ces bilans ont alors servis ensuite à calculer les bilans des rotations-cadres en entier (bilan de la rotation-cadre vu comme la somme des bilans des cultures qui la compose).

**Tableau A26 : Tableau récapitulatif des calculs d'exportations d'azote par les cultures pour le calcul des bilans apparents d'azote**

Culture	Nb_années_dans_rotation	Cumul des unités d'N total par fertilisation par an (kgN/ha)	Cumul des unités d'N disponible issues de la fertilisation par an	PPAM: taux de conversion des rendements en kg HE/ha en kg MFraiche/ha	PPAM: Conversion kg MFraiche/ha en kg MS/ha	PPAM: Taux d'exportation de N par kg MS/ha (des "verts")	CEREALES ou SEMENCES ou Autres: Taux d'exportation en N des grains (kg/q de MS)	CEREALES ou SEMENCES ou Autres: Taux d'exportation en N des pailles (kg/q de MS)	FOURRAGES: Taux d'exportation en N du foin (kg/tMS)	COLZA: Taux d'exportation en N des grains + pailles (en kg de N/q de rendement MFraiche)	Rendement moyen	unité de rendement	Pourcentage de Masse sèche à la récolte (%)	Rendement en masse sèche	unité de rendement en masse sèche	Exportations d'N totales par les grains (en kg N/ha) ou par la culture entière	Exportations d'N totales par les pailles (en kg N/ha)	Solde CORPEN pour 1 an (kg N/ha)	Solde CORPEN fin culture (kg N/ha)
Lavandin	7	59,5	59,5	52,63	0,6	0,0225					120	kg HE/ha	/	3789	kg MS/ha	85,3		-26	-180
Coriandre	1	100,05	100,05	625	0,32	0,0225					15	q/ha	/	3000	kg MS/ha	67,5		33	33
Fenouil	3	39	39	52,63	0,6	0,0225					200	kg HE/ha	/	6316	kg MS/ha	142		-103	-309
Sauge	3	49	49	625	0,32	0,0225					17	kg HE/ha	/	3400	kg MS/ha	76,5		-28	-83
Ble dur	2	170,2	170,2				2,1	0,5			35	q/ha	85	30	q MS/ha	62,5	14,9	108	215
Avoine	3	126	63				1,6	0,4			30	q/ha	85	26	q MS/ha	40,8	10,2	12	36
Ble tendre	1	126	63				1,8	0,4			40	q/ha	85	34	q MS/ha	61,2	13,6	-11,8	-11,8
Orge	1	60	60				1,5	0,4			40	q/ha	85	34	q MS/ha	51	13,6	-4,6	-4,6
Tournesol	1	35	10,5				2,4	1,8			16	q/ha	91	15	q MS/ha	34,9	26,2	-24	-24
Pois chiche	1	0	0				3,1	1			15	q/ha	86	13	q MS/ha	40	12,9	-53	-53
Pois	1	0	0				3,1	1			25	q/ha	86	22	q MS/ha	33,3	10,75	-33	-33
Betterave semence	1	234,5	234,5				1,1				28	q/ha	90	168	q MS/ha	184,8		50	50
Colza	1	159,1	159,1							7	18	q/ha	91	16	q MS/ha	126		33	33
Ray gras	1	131,65	131,65						15		6,5	t/ha	80	5	tMS/ha	78		54	54
Sainfoin	3	0	0						25		5	t/ha	80	4	tMS/ha	50		-50	-150
Luzerne	4	0	0						28		7	t/ha	80	6	tMS/ha	78,4		-78	-314

## Annexe 27 : Détails des calculs de coefficients cultureux moyens pour les cultures

Le tableau A27-1 résume le calcul des coefficients cultureux ainsi que les sources qui ont permis d'obtenir les données de Kc pour les cultures étudiées. Pour le coefficient Kc en post-récolte, l'hypothèse a été faite que le Kc artificiel d'un sol nu était de 0,2 (inférieurs aux autres Kc mais non nul car le sol continue d'évaporer de l'eau).

**Tableau A27-1 : Tableau récapitulatif des calculs de coefficients cultureux moyens par culture étudiée**

Culture	Kc Initial	durée "initial" (mois)	Kc developpement	durée developpement (mois)	Kc mi saison	durée mi saison (mois)	Kc tardif	durée tardif (mois)	Kc post-récolte	durée post-récolte	KC MOYEN	Source
Betterave sucrière	0,35	3	0,78	3	1,2	2	0,7	2	0,2	2	<b>0,63</b>	FAO, Aquastat
Blé	0,4	3	0,78	3	1,15	2	0,3	2	0,2	2	<b>0,57</b>	
Tournesol	0,35	3	0,73	3	1,1	2	0,35	2	0,2	2	<b>0,55</b>	
Colza	0,35	3	0,73	3	1,1	2	0,35	2	0,2	2	<b>0,55</b>	
Fourrage	0,4	3	0,7	3	1	2	0,9	2	0,7	2	<b>0,71</b>	
Orge	0,3	3	0,73	3	1,15	2	0,25	2	0,2	2	<b>0,52</b>	
Sorgho	0,3	3	0,7	3	1,1	2	0,55	2	0,2	2	<b>0,56</b>	
Pois	0,6	3	0,8	3	1,1	2	0,8	2	0,2	2	<b>0,70</b>	unilet.fr
Pois chiche												

Pour le lavandin, le travail de Steve AUBRY à la SCP a permis de faire une première hypothèse sur les Kc du lavandin. Ces mêmes Kc ont été appliqués par défaut aux autres PPAM du plateau, dont les coefficients cultureux sont inconnus. Ces coefficients sont résumés dans le tableau A27-2.

**Tableau A27-2 : Tableau récapitulatif des calculs de coefficients cultureux moyens pour le lavandin (et les autres PPAM)**

Culture	Kc Initial	durée "initial" (mois)	Kc developpement	durée developpement (mois)	Kc maturité	durée maturité (mois)	Kc post-récolte	durée post-récolte	KC MOYEN	Source
Lavandin	0,3	4	0,55	2,5	0,8	1	0,30	4,5	0,39	Stage de Steve AUBRY

En utilisant les données satellite Sentinel2, Steve AUBRY (en stage de césure à la SCP en 2017) a comparé l'évolution des valeurs de SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index) dans le temps avec les coefficients cultureux du blé dur. Les évolutions de ces deux valeurs étaient semblables. Steve a alors calculé les valeurs de SAVI du lavandin. Aucune référence n'existe en ce qui concerne les coefficients cultureux du lavandin, donc il n'a pas été possible de comparer les valeurs de SAVI avec les coefficients cultureux de la culture. Nous avons donc fait l'hypothèse ici que les valeurs de SAVI trouvées sont égales aux coefficients cultureux Kc du lavandin. (Source : Steve AUBRY, 2017, *Caractérisation des besoins en eau du lavandin et exploration du potentiel de l'imagerie Sentinel-2 pour l'estimation d'un coefficient cultural et du suivi du dépérissement du lavandin sur le plateau de Valensole*. Rapport de stage de césure.)

## Annexe 28 : Calcul de la concentration en milligrammes d'NO<sub>3</sub><sup>-</sup> par litre

Pour le blé dur irrigué, les bilans apparents indiquent :

- 283 mm d'eau résiduelles = 283 litres/m<sup>2</sup> = 2 830 000 litres pour 1 hectare
- 80 kg d'azote/ha résiduels = 80 000 000 mg d'azote par hectare

Pour le blé dur sec, les bilans apparents indiquent :

- 193 mm d'eau résiduelles = 193 litres/m<sup>2</sup> = 1 930 000 litres pour 1 hectare
- 75 kg d'azote/ha résiduels = 75 000 000 mg d'azote par hectare

La masse molaire d'une mole d'azote est de **14g/mole** (Tableau périodique de Mendeleïev, 2017).

La masse molaire d'une mole de nitrate NO<sub>3</sub><sup>-</sup> est de **68g/mole** (calculé à partir du tableau périodique de Mendeleïev, 2017).

Hypothèse : l'azote résiduel des bilans apparents est constitué à 50% de nitrate et à 50% d'autres formes d'azote.

- Calcul de la concentration théorique en nitrate par les bilans apparents pour le blé dur irrigué :

- Concentration en azote par litre d'eau résiduel :  $\frac{80\,000\,000}{2\,830\,000} = 28$  mg d'azote/litre
- Conversion de concentration d'azote en concentration de nitrate :

$$28 \text{ mg par litre} \times \left(\frac{68 \text{ g par mole}}{14 \text{ g par mole}}\right) \times \left(\frac{50}{100}\right) = \mathbf{68 \text{ mg de NO}_3^- \text{ par litre}}$$

- Calcul de la concentration théorique en nitrate par les bilans apparents pour le blé dur sec :

- Concentration en azote par litre d'eau résiduel :  $\frac{75\,000\,000}{1\,930\,000} = 39$  mg d'azote/litre
- Conversion de concentration d'azote en concentration de nitrate :

$$39 \text{ mg par litre} \times \left(\frac{68 \text{ g par mole}}{14 \text{ g par mole}}\right) \times \left(\frac{50}{100}\right) = \mathbf{95 \text{ mg de NO}_3^- \text{ par litre}}$$

De la même manière, pour la comparaison des rotations-cadres des systèmes d'élevage Ei1 et Es1, il est possible de calculer les concentrations théoriques de nitrate par litre à partir des bilans apparents.

Pour le système Ei1 :

- 362 mm d'eau résiduelles = 362 litres/m<sup>2</sup> = 3 620 000 litres pour 1 ha
- (-) 77 kg d'azote/ha = - 77 000 000 mg d'azote /ha

Pour le système Es1 :

- 161 mm d'eau résiduelles = 161 litres/m<sup>2</sup> = 1 610 000 litres pour 1 ha
- (-) 37 kg d'azote/ha = - 37 000 000 mg d'azote/ha

- Calcul de la concentration théorique en nitrate par les bilans apparents pour Ei1 :

- Concentration en azote par litre d'eau résiduel :  $\frac{-77\,000\,000}{3\,620\,000} = - 21$  mg d'azote/litre
- Conversion de concentration d'azote en concentration de nitrate :  
- 21 mg par litre  $\times \left(\frac{68 \text{ g par mole}}{14 \text{ g par mole}}\right) \times \left(\frac{50}{100}\right) = - 69,5$  mg de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/litre

- Calcul de la concentration théorique en nitrate par les bilans apparents pour Es1 :

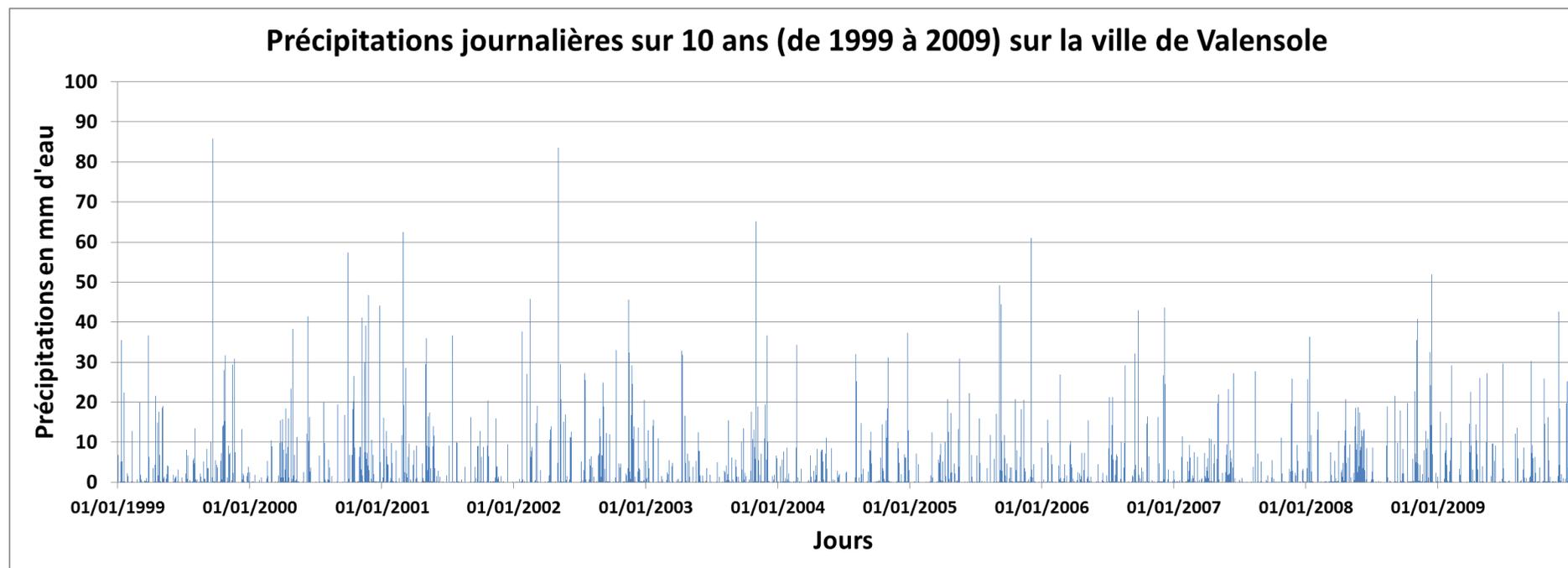
- Concentration en azote par litre d'eau résiduel :  $\frac{-37\,000\,000}{1\,610\,000} = - 22$  mg d'azote/litre
- Conversion de concentration d'azote en concentration de nitrate :  
- 22 mg par litre  $\times \left(\frac{68 \text{ g par mole}}{14 \text{ g par mole}}\right) \times \left(\frac{50}{100}\right) = - 55,5$  mg de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/litre

## **Annexe 29 : Détails des valeurs de bilans apparents d'azote et d'eau des rotations-cadres**

**Tableau A29 : Détails des valeurs de bilans apparents des rotations-cadres des systèmes de cultures**

	MOYENNE PAR AN	
	Bilan Azote MOYEN par an (kg N/ha)	Bilan Eau MOYEN par an avec KC(mm)
LCs1	18	297
LCs2	-23	336
LCs3	21	269
LCs4	-9	303
LCs5	-13	264
LCi1	-35	458
LCi2	-15	299
LCi3	-13	354
LCi4	-28	424
LCi5	-19	408
Es1	-37	161
Ei1	-77	362
Ei2	-30	156

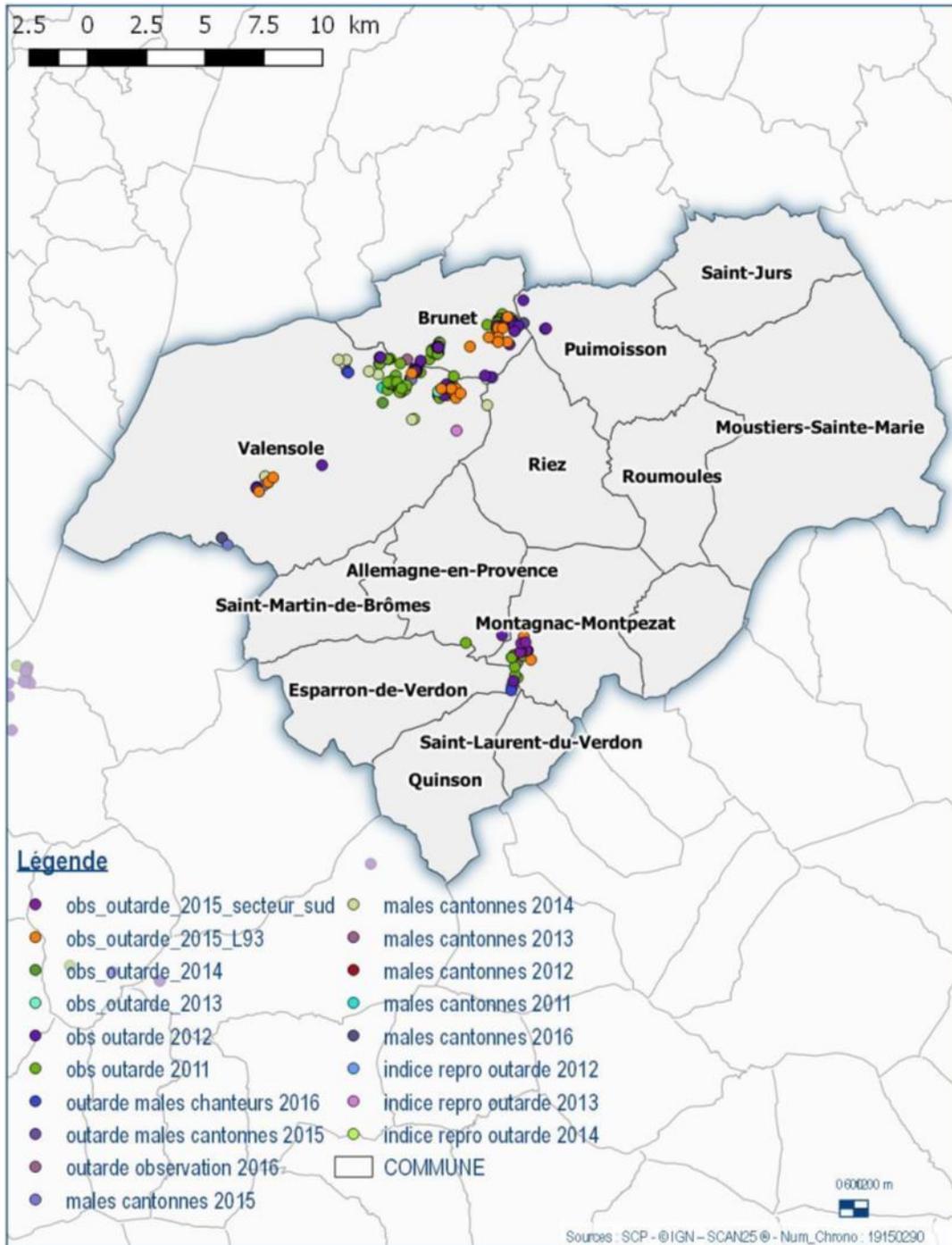
### **Annexe 30 : Récapitulatif des précipitations journalières de Valensole (de 1999 à 2009)**



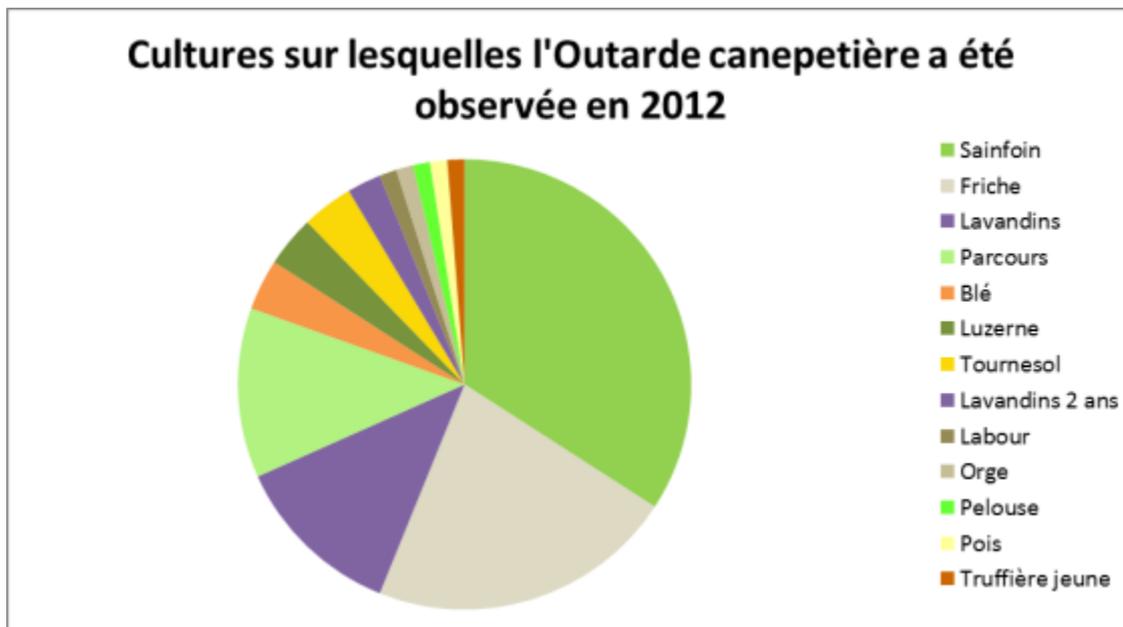
**Figure A30 : Histogramme des précipitations journalières sur la ville de Valensole entre 1999 et 2009**

Source : Relevés climatiques issus d'un projet de la SCP

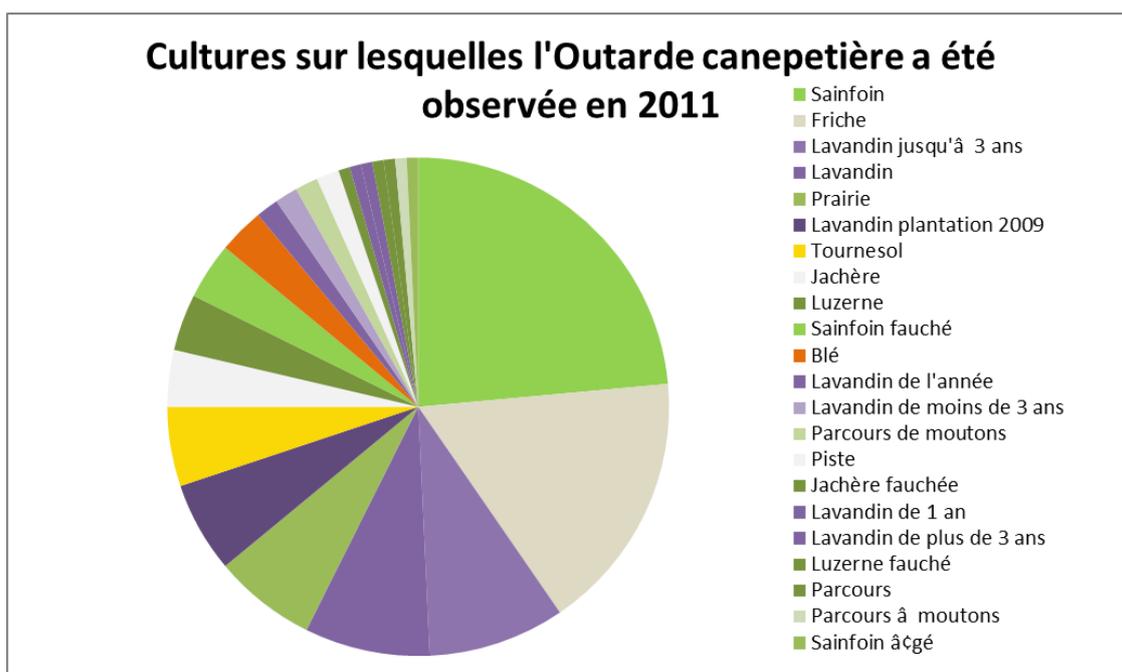
**Annexe 31 : Carte des observations réalisées par le PNRV d'Outardes canepetières sur le plateau de Valensole et graphiques des assolements des observations d'Outardes canepetières**



**Figure A31-1 : Observations des Outardes canepetières sur le plateau de Valensole - Carte réalisée sous le logiciel Qgis grâce aux observations du PNRV**



**Figure A31-2 : Localisation des Outardes canepetières par cultures en 2012 sur le plateau de Valensole -Réalisée grâce aux observations du PNRV**



**Figure A31-3 : Localisation des Outardes canepetières par cultures en 2011 sur le plateau de Valensole -Réalisée grâce aux observations du PNRV**



## RESUME

### **Titre : Impacts agro-environnementaux de l'irrigation des systèmes cultivés sur le plateau de Valensole**

Le plateau de Valensole, avec sa géographie et son histoire particulière, est un territoire aux multiples enjeux. Au cœur du Parc Naturel Régional du Verdon, ce plateau possède notamment une faune et une flore spécifique, dont certaines espèces sont protégées. De plus, la vulnérabilité de ses sols et de ses eaux impose depuis plusieurs années des mesures préventives pour limiter la diffusion des pollutions vers ces compartiments. Territoire agricole reconnu pour sa production de céréales et de plantes à parfum, le plateau de Valensole possède une agriculture qui a connu différentes évolutions par le passé et qui doit aujourd'hui s'adapter au contexte social, économique et environnemental actuel. Un groupe de travail, encadré par plusieurs acteurs du territoire et du monde de la recherche, a notamment été mis en place il y a quelques années pour accompagner les agriculteurs vers une transition agro-écologique : le projet REGAIN. En parallèle de ce contexte, la Société du Canal de Provence, dont le premier réseau d'irrigation dessert le Sud du plateau, a prévu d'étendre son réseau d'irrigation dans la zone Nord, face aux demandes des agriculteurs et des communes de ce territoire. C'est dans ce cadre que l'étude présentée dans ce mémoire a été lancée, afin d'appréhender les différents impacts que l'irrigation d'un territoire peut avoir sur l'agronomie, le fonctionnement du sol et la biodiversité. Pour cela, des enquêtes ont été réalisées chez quinze agriculteurs du plateau. Des synthèses bibliographiques sont également venues compléter les données de cette étude. En terme d'agronomie, l'irrigation s'est avérée être utilisée de différentes façons par les agriculteurs. Elle permet d'une part d'assurer la production de cultures méditerranéennes face au changement climatique, mais elle permet également une diversification des assolements. Selon les cultures de diversification choisies, les pressions polluantes en azote et en produits phytosanitaires sont soit augmentées, soit diminuées. L'irrigation s'est aussi révélée être particulièrement importante pour le maintien des systèmes d'élevage ovin. Pour le sol, l'irrigation peut avoir des impacts à la fois positifs ou négatifs en termes de fonctionnement des cycles des éléments : la composition des systèmes de culture, la fréquence des irrigations et les quantités d'eau apportées par irrigation sont des facteurs qui influent directement sur les processus de fonctionnement du sol. Enfin, en termes de biodiversité, l'étude a montré que l'Outarde canepetière, oiseau steppique protégé, était sensible à l'irrigation et l'intensification des pratiques agricoles. Il est alors important que l'irrigation soit pilotée de manière raisonnable et qu'elle encourage des pratiques agricoles durables et favorables à la protection de cet oiseau. Enfin, l'étude a montré que l'arrivée de l'irrigation sur les exploitations agricoles pouvait être un levier pour favoriser des techniques et des pratiques agricoles plus durables, comme la mise en place de couverts d'intercultures, l'implantation de haies, la pratique du semis-direct. Ces différentes pratiques agricoles peuvent alors augmenter la biodiversité à l'échelle de la parcelle, de l'exploitation et même du territoire (mosaïques de cultures). L'irrigation, selon son pilotage, peut donc être un levier important pour augmenter la résilience des systèmes de culture et rendre l'agriculture plus agro-écologique et durable. D'autres études à son sujet seront indispensables à l'avenir pour mieux définir son rôle.

#### **Mots clés :**

Irrigation, REGAIN, Plateau de Valensole, Agroécologie, Sol, Biodiversité, Agrosystèmes, Elevage, Systèmes de culture, Outarde canepetière, Durabilité

Pour citer cet ouvrage : Welsch Coralie, 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 Supagro. 46p.

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