

# SIMULATION ET ANALYSE DE SCENARIOS DE DEVELOPPEMENT DES LEGUMINEUSES ET DE LEURS IMPACTS SUR LES BILANS D'EAU ET D'AZOTE SUR LE PLATEAU DE VALENSOLE

Rapport de projet de fin d'études de l'option productions végétales  
durables (PVD) 2017-2018

David BERG, Julie CAQULARD, Clémence DARLEY, Pedro De LINAN, Céline DURAND,  
Louise ECOCHARD, Solène GUILLOT, Thibault LEFEUVRE, Elisa KAMIR, Clara VALIENTE  
Mars 2018



*Rapport de projet de fin d'études de l'option  
Production Végétale Durable (PVD) 2017-2018*

**Simulation et analyse de scénarios de  
développement des légumineuses et de  
leur impact sur les bilans d'eau et  
d'azote sur le plateau de Valensole**



L'ensemble des données utilisées et des conclusions n'engagent que les étudiants de l'option PVD et en aucun cas les acteurs rencontrés et impliqués dans le projet Regain.

**Travail réalisé par :**

David BERG, Julie CAQULARD, Clémence DARLEY, Pedro De LINAN, Céline DURAND, Louise ECOCHARD, Solène GUILLOT, Thibault LEFEUVRE, Elisa KAMIR, Clara VALIENTE

# RÉSUMÉ

Notre travail s'inscrit dans la continuité du projet REGAIN basé sur le plateau de Valensole, spécialisé dans la production de lavandin. Plusieurs problématiques touchent le plateau, notamment le dépérissement du lavandin qui entraîne une forte diminution de la période de production des plants de lavandins dans certaines zones. De plus, le plateau est classé en zone vulnérable aux nitrates depuis 2017.

Une grande diversité d'acteurs est impliquée dans le projet, notamment le parc naturel du Verdon, la Chambre d'Agriculture des Alpes de Haute Provence, la chaire d'entreprises AgroSYS et la Société du Canal de Provence. Ce travail a été réalisé par les étudiants de Montpellier SupAgro de la spécialisation Production Végétale Durable. Pour répondre aux problématiques précédentes, des propositions de rotation incluant des légumineuses sont présentées dans ce rapport.

Un zonage du plateau a été réalisé afin de proposer des scénarios différents selon des critères d'accès à l'irrigation (réseau actuel et futur), la présence de dépérissement et la quantité d'Unités de Travail Humain (UTH)/Surface Agricole Utile (SAU) des exploitations dans le but de tenir compte des contraintes majeures auxquelles sont confrontés les agriculteurs. Les scénarios sont comparés entre eux à partir des indicateurs relatifs au bilan d'azote, au bilan hydrique et à la production.

A partir du zonage et des propositions de scénarios associés à chaque zone du plateau nous sommes en capacité d'étudier l'impact de l'implantation de légumineuse à l'échelle du plateau en terme agro-économique.

# TABLE DES MATIÈRES

|   |    |
|---|----|
| RÉSUMÉ.....   | 2  |
| TABLE DES ACRONYMES .....   | 5  |
| REMERCIEMENTS .....   | 6  |
| <br>  |    |
| I. Introduction .....   | 7  |
| A. Contexte agricole du Plateau de Valensole : enjeux et contraintes .....                                  | 7  |
| B. Le projet agro-écologique Regain .....   | 7  |
| C. Insertion de notre travail dans le projet Regain .....   | 7  |
| D. Intérêts des légumineuses sur le plateau de Valensole.....   | 7  |
| E. Problématique de notre étude et objectifs .....  | 8  |
| F. Délimitation de l'étude .....  | 8  |
| <br>  |    |
| II. Matériel et méthodes .....  | 9  |
| A. Choix des indicateurs d'évaluation des scénarios .....   | 9  |
| B. Identification et collecte des données nécessaires .....   | 10 |
| C. Méthode de zonage du plateau.....  | 11 |
| 1. Sélection de la zone d'étude sur le plateau de Valensole .....   | 11 |
| 2. Construction d'une typologie d'exploitations agricoles et du zonage du Plateau de Valensole.....         | 11 |
| 3. Zones retenues pour la définition de la situation actuelle et des scénarios .....                        | 12 |
| 4. Représentation cartographique.....   | 13 |
| D. Méthode de construction des modèles des bilans hydrique et azoté.....                                    | 14 |
| 1. Démarche.....  | 14 |
| 2. Construction du modèle de bilan hydrique .....   | 14 |
| 3. Construction du modèle de bilan azoté.....   | 16 |
| 4. Mise en connexion des deux bilans pour estimer la concentration en nitrates dans l'eau de drainage ..... | 17 |
| <br>  |    |
| III. Résultats.....   | 18 |
| A. Zonage du plateau de Valensole dans le cadre de l'étude .....  | 18 |
| B. Situation initiale sur le plateau de Valensole.....  | 19 |

|     |  |    |
|-----|--|----|
| C.  | Définition des scénarios de développement des légumineuses.....                                    | 21 |
| 1.  | Espèces de légumineuses choisies.....  | 21 |
| 2.  | Principes respectés pour la construction des rotations alternatives .....                          | 23 |
| 3.  | Propositions de rotations intégrant des légumineuses .....   | 23 |
| 4.  | Scénarios alternatifs.....   | 27 |
| D.  | Résultats des simulations des scénarios .....  | 29 |
| 1.  | Indicateurs des bilans hydriques et azotés .....   | 29 |
| 2.  | Indicateurs de production.....   | 31 |
| IV. | Discussion.....  | 33 |
|     | CONCLUSION.....  | 34 |
|     | BIBLIOGRAPHIE .....  | 35 |
|     | ANNEXE 1 : Comptes-rendus d’entretiens.....  | 36 |
|     | ANNEXE 2 : Note explicative du modèle de bilan hydrique et du calcul de la lixiviation .....       | 55 |
|     | ANNEXE 3 : Note explicative des cartes réalisées avec le logiciel QGis.....                        | 65 |
|     | ANNEXE 4 : Tableau regroupant l’ensemble des données sur les cultures pour le bilan hydrique ..... | 67 |
|     | ANNEXE 5 : Note explicative du modèle de bilan d’azote .....                                       | 68 |
|     | ANNEXE 6 : Présentation des calendriers des rotations .....  | 73 |

# TABLE DES ACRONYMES

CIPAN : Culture Intermédiaire Piège à Nitrates

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

INRA : Institut National de la Recherche Agronomique

N : Azote

PPAM : Plantes à Parfum, Aromatiques et Médicinales

PVD : Production Végétale Durable

PNR : Parc Naturel Régional

Q : quintal

RPG : Registre Parcellaire Graphique

SAU : Surface Agricole Utile

SCP : Société du Canal de Provence

SIG : Système d'Information Géographique

T : Tonne

UTH : Unité de Travail Humain

# REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier tous les experts que nous avons rencontrés, à savoir Christian Charbonnier, Nora Dermech, Jean-Claude Lacassin, Eugénie Blanc-Coutagne, Paula Pommier, Luc Courtil, Serge Vernet et Denis Vernet, pour leur implication dans notre projet et leurs réponses à nos questions. L'aide qu'ils nous ont apportée a été essentielle et nous a permis de mener à bien ce projet. Nous remercions aussi Marie Fontaine et Stéphane Follain pour leurs aides sur des aspects techniques.

Nous tenons également à remercier Jacques Wery et Laure Hossard pour leur encadrement et leur bienveillance qui nous ont permis de construire sereinement ce projet.

Nous voulons aussi dire merci à Hélène Marrou et Julie Pitchers pour leur aide précieuse lors de la construction des modèles, ainsi qu'à Isabelle Bastié, Mathieu Bayot et Nora Dermech dont l'appui logistique a été essentiel pour mener à bien cette étude. Enfin, nous souhaitons également remercier Walter le chef cuisinier de l'hôtel "La Fontaine" qui nous a régalié aux dîners lors de notre semaine sur le plateau.



# I. Introduction

## A. Contexte agricole du Plateau de Valensole : enjeux et contraintes

Le plateau de Valensole est situé dans le Sud-Est de la France, en région Provence-Alpes-Côte d'Azur, dans le département des Alpes de Haute Provence. L'agriculture repose principalement sur la culture du lavandin et du blé dur, deux productions qui bénéficient de filières bien structurées sur le plateau. Néanmoins les exploitations agricoles sont désormais confrontées à des difficultés d'ordre environnemental, économique, et agronomique. Le plateau a notamment été inscrit en zone vulnérable nitrates, et le problème d'érosion des sols prend de plus en plus d'importance. Le dépérissement du lavandin est une des préoccupations majeures des agriculteurs du plateau aussi bien d'un point de vue agronomique qu'économique. Il s'agit d'une maladie due au phytoplasme du Stolbur, transmis par les cicadelles et qui provoque la mortalité précoce des lavandins (au bout de 4 ou 5 ans, contre 12-15 ans en conditions saines). De plus, le plateau étant situé en zone méditerranéenne, le changement climatique risque d'entraîner une augmentation de la fréquence du nombre d'années sèches.

## B. Le projet agro-écologique Regain

Dans ce contexte, trois acteurs du territoire - le Parc Naturel Régional du Verdon, la Chambre d'Agriculture des Alpes de Haute Provence et la Société du Canal de Provence - ainsi que la chaire d'entreprise AgrosYS de Montpellier SupAgro ont lancé le projet agro-écologique "*REGAIN - accompagner l'évolution des pratiques agricoles sur le plateau de Valensole vers des agrosystèmes plus durables*". Ce projet a été initié en 2016, permettant la mise en place de différentes actions : suivi des pratiques d'irrigation du lavandin, suivi de la concurrence azotée d'une parcelle de lavandin enherbée, mise en place d'outils de gestion de la fertilisation azotée du blé dur, et enfin la mise en place d'essais de couverts CIPAN. En 2017, le "Réseau Sol" a été créé au sein du projet Regain avec 23 lavandiculteurs souhaitant allier qualité des sols, productivité, et durabilité du système. Enfin, le projet incite à la plantation de haies et d'arbres pour freiner l'érosion éolienne et hydrique.

## C. Insertion de notre travail dans le projet Regain

Le travail réalisé par notre groupe d'étudiants PVD vise à initier la seconde phase du projet Regain à l'échelle des exploitations et du territoire, dans le but d'engager l'ensemble des acteurs du plateau dans une analyse de scénarios pouvant être mis en œuvre dans les exploitations et sur le territoire pour engager cette transition agro-écologique. In fine, ce travail doit servir de base à une discussion entre les porteurs du projet Regain.

## D. Intérêts des légumineuses sur le plateau de Valensole

Le principal levier mobilisé dans cette étude est l'introduction de légumineuses soit dans les rotations en remplacement des grandes cultures actuelles, soit en inter-rang du lavandin, soit en



fourragère pérenne ou annuelle, soit en couverture du sol (engrais vert). Ces légumineuses permettent d'aller vers des pratiques agro-écologiques comme définies dans le projet Regain : le développement de couverts végétaux dans les grandes cultures et les cultures pérennes permettent de freiner l'érosion et le lessivage et d'augmenter la lutte biologique par la faune auxiliaire. En termes de maîtrise des intrants, la fixation symbiotique de l'azote (N) dans les nodosités des légumineuses leur permet de réaliser leur cycle sans apport de fertilisation azotée, ce qui permet de diminuer les charges et de minimiser les risques de lixiviation. Enfin, diversifier l'assolement et allonger les rotations aide à rééquilibrer l'agrosystème en diminuant la pression parasitaire, en brisant le cycle des adventices et en augmentant la fertilité du sol.

L'enjeu "intrants azotés" est une réelle préoccupation sur le plateau puisqu'il vient d'être placé en zone vulnérable nitrates. Les légumineuses sont susceptibles de réduire l'intensivité du système agricole en azote voire en herbicides (grâce à l'alternance des substances actives et des cultures de printemps et d'automne). Mais les performances de ces légumineuses en termes d'installation, de rendement, et de fixation d'azote dépendent du régime hydrique via la pluie et éventuellement l'irrigation (Welsch C., 2017).

Les légumineuses sont déjà présentes dans les systèmes du plateau de Valensole mais représentent une part relativement minoritaire de l'assolement. D'après le Registre Parcellaire Graphique 2016 (RPG), sur 33 000 ha de SAU total, on trouve 354 ha de protéagineux (dont le pois fourrager), 137 ha de légumineuses à graines (principalement pois chiche) et 1287 ha de sainfoin. On suppose que leur introduction pourrait améliorer la situation économique des agriculteurs. En effet, une tonne de pois chiche se vend 500€ quand une tonne de blé dur se vend 160€ (Vernet, D., communication personnelle). De plus, on peut s'attendre à des économies en intrants, et donc en charges.

## E. Problématique de notre étude et objectifs

Les différents objectifs de ce travail sont les suivants :

- Évaluer le potentiel de développement des légumineuses sur le plateau de Valensole en surface et en diversité d'espèces en tenant compte des contraintes des principaux types d'exploitations de la zone.
- Définir quels types de légumineuses sont les plus adaptés aux systèmes de cultures du plateau.
- Évaluer l'impact à l'échelle du plateau du développement de ces cultures sur l'intensivité des systèmes agricoles en azote et en eau et sur les excédents structurels d'azote susceptibles d'être lixiviés vers les nappes.
- Définir quels sont les éléments cartographiques, techniques et économiques qui pourraient être utiles à capitaliser pour accompagner le développement de cultures de légumineuses.

## F. Délimitation de l'étude

Les exploitations agricoles considérées pour ce projet sont celles spécialisées en lavandin et grandes cultures. Les exploitations avec un atelier élevage ont été négligées, car elles ne font pas face aux mêmes problématiques que les lavandiculteurs-céréaliers et n'ont pas les mêmes potentiels

d'introduction de légumineuses. Les surfaces en prairie permanente, estives, vergers, vignes ont été exclues de la zone d'étude. D'après le RPG 2016, les cultures principales sur le plateau sont le lavandin, le blé et le colza. Les autres cultures dont la surface est inférieure à 5% de la SAU totale n'ont pas été prises en compte.

Pour élaborer nos scénarios, nous avons choisi d'écarter la pression des sangliers sur les légumineuses à graines, bien que celle-ci soit souvent citée comme le principal frein à leur développement. D'autre part, par manque de temps pour rechercher les données nécessaires, nous n'avons pas évalué l'impact du développement des légumineuses sur les performances économiques des exploitations, ni sur l'organisation des filières existantes. Ce volet d'étude de marché sera l'objet d'un futur stage. Les scénarios proposés fourniront des données chiffrées qui pourront servir de base de discussion pour les acteurs du territoire sur les questions de régulation des populations de sangliers, de structuration de filières de commercialisation des légumineuses alimentaires, et de mise en relation entre céréaliers et éleveurs pour les légumineuses fourragères.

Les scénarios que nous proposons se situent à une échelle de temps de 10 ans, en prenant comme hypothèses que l'extension du réseau d'irrigation concernera la zone de Valensole à cette échéance, et que les types d'exploitations n'auront pas changé.

## II. Matériel et méthodes

La première étape a été de définir la situation actuelle sur le plateau en termes de types d'exploitations agricoles et de productions, et d'en produire une représentation cartographique sous QGIS. Ceci a permis d'identifier les contraintes (irrigation, dépérissement, main d'œuvre...), les rotations et les itinéraires techniques actuels. Nous avons ensuite sélectionné plusieurs espèces de légumineuses, et nous avons fait différentes propositions pour les introduire dans les rotations. Dans un deuxième temps, ces propositions ont été agencées afin d'obtenir des scénarios de développement de légumineuses sur le plateau de Valensole. Des modèles de bilans hydrique et azoté ont été construits en utilisant le logiciel Rstudio, et ont été utilisés pour comparer les performances des différents scénarios selon différents indicateurs.

### A. Choix des indicateurs d'évaluation des scénarios

Les indicateurs d'évaluation des scénarios d'introduction de légumineuses doivent permettre de comparer la situation actuelle aux scénarios proposés. Les indicateurs ont été classés selon trois groupes : les indicateurs relatifs au bilan d'azote, les indicateurs relatifs au bilan hydrique, et les indicateurs relatifs à la production. Ils ont été choisis de manière à répondre aux objectifs soulevés dans la partie "Problématique de notre étude et objectifs". Tous les indicateurs choisis sont calculés à l'échelle du plateau et sont à utiliser en relatif, c'est à dire qu'ils servent à comparer les scénarios entre eux et non à fournir des valeurs absolues pour le plateau.

Les indicateurs relatifs au bilan d'azote sont :

- L'excédent structurel d'azote ;
- La quantité d'engrais minéral utilisée ;
- La quantité d'azote atmosphérique fixé ;
- La teneur en azote dans l'eau de drainage.

Les indicateurs relatifs au bilan hydrique sont :

- La quantité d'eau utilisée pour l'irrigation ;
- La quantité d'eau drainée.

Les indicateurs de production sont :

- Les quantités produites de chaque culture à l'échelle du plateau (en T/an) ;
- Le chiffre d'affaire généré par culture et par scénario (en €/an) ;
- Le nombre de personnes nourries.

Ces indicateurs ont été choisis pour illustrer des performances à la fois agronomiques, économiques et sociales.

## B. Identification et collecte des données nécessaires

L'objectif étant de réaliser des bilans d'eau et d'azote, nous avons eu besoin de données météorologiques du plateau de Valensole. Nous avons utilisé des données de précipitations, de températures, de rayonnement et d'évapotranspiration au pas de temps journalier. Nous avons pu reconstituer 18 années de données entre 1980 et 2005. Ces données nous ont été fournies par Laure Hossard pour les données des stations INRA et par Eugénie Blanc-Coutagne (SCP). (Voir annexe 2 : note explicative du modèle de bilan hydrique).

Pour définir la situation agricole actuelle sur le plateau puis construire les scénarios, il nous fallait des données sur les rotations types, les rendements et les itinéraires techniques (dates de semis et récolte, fertilisation). Un certain nombre de ces informations ont été trouvées dans "*Impacts agro-environnementaux de l'irrigation des systèmes cultivés sur le plateau de Valensole*" (Welsh, 2017), (Tardivo; 2016) (Projet final étudiant, 2014). Une autre partie a été récoltée au cours d'entretiens avec des agriculteurs.

Des données sur les stades physiologiques des cultures étaient nécessaires en paramètres d'entrée des modèles. Elles ont été récoltées à dire d'experts auprès d'enseignants de Supagro.

Les données nécessaires à la cartographie du plateau de Valensole sont des couches d'informations géo-référencées pouvant être utilisées dans le logiciel QGIS. La couche permettant la délimitation des communes prises en compte pour cette étude (14 communes) a été fournie par le PNR du Verdon. Le Registre Parcellaire Graphique (RPG) contenant le type de culture et la surface des parcelles présentes sur chaque commune du plateau de Valensole permet de définir la surface de chaque zone et la surface de chaque type de culture. La localisation du réseau d'irrigation de la SCP permet de définir une couche des zones irrigables. La zone concernée par l'extension du réseau d'irrigation de la SCP constitue également une couche d'information nécessaire à notre travail pour la définition de la zone prochainement irrigable.

Les informations relatives aux UTH et SAU des exploitations agricole du plateau ont été confrontées aux témoignages d'agriculteurs que nous avons rencontrés. Leurs visions globales des différents types d'exploitations agricoles présentes sur le territoire d'étude a permis de valider et localiser les principaux critères caractérisant les zones du plateau de Valensole.

L'ensemble des comptes rendus d'entretiens est présenté en annexe 1.

## C. Méthode de zonage du plateau

### 1. Sélection de la zone d'étude sur le plateau de Valensole

Dans le cadre de ce travail, nous nous intéressons à la surface agricole du plateau de Valensole. Nous avons sélectionné quatorze communes sur le plateau, délimité par les vallées de l'Asse, de la Durance et du Verdon : Allemagne-en-Provence, Brunet, Esparron-de-Verdon, Gréoux-les-Bains, Montagnac-Montpezat, Moustiers-Sainte-Marie, Puimoisson, Quinson, Riez, Roumoules, Sainte-Croix-de-Verdon, Saint-Jurs, Saint-Laurent-du-Verdon, Saint-Martin-de-Bromes et Valensole.

### 2. Construction d'une typologie d'exploitations agricoles et du zonage du Plateau de Valensole

Pour élaborer des scénarios pertinents, il est nécessaire de pouvoir classer les exploitations agricoles par grands types mais aussi de les replacer dans un contexte géographique par rapport à un zonage. Dans un premier temps, les données ont été trouvées dans la bibliographie et dans un second temps elles ont été confrontées à la réalité du terrain au cours d'entretiens avec des acteurs du plateau.

#### a. Le zonage

Dans un premier temps, nous nous sommes principalement basés sur le travail effectué par Caroline Tardivo dans sa thèse (2016) avec un zonage selon :

- trois types de sol (caractérisés par leurs réserves utiles) ;
- trois niveaux de pression de dépérissement ;
- possibilité d'irriguer ou non.

Les personnes que nous avons rencontrées ont suggéré et validé la simplification du zonage à 4 zones A, B, C et D, en ne conservant que la zone actuellement irrigable (A), la zone qui sera concernée par l'extension du réseau d'irrigation (B), la zone non-irriguée et faiblement touchée par le

dépérissement (C), et la zone non-irriguée et fortement touchée par le dépérissement (D). Nous avons choisi de supprimer le zonage selon le type de sol car, d'après les informations que nous avons eues par la SCP, les sols du plateau sont globalement comparables en termes de profondeur et de texture.

La zone fortement touchée par le dépérissement est localisée sur les deux communes de Saint-Jurs et Puimoisson (Tardivo, 2016). Nous avons fait le choix de simplifier la carte de dépérissement du lavandin en définissant une zone fortement touchée et une zone plus faiblement impactée. Cela se traduit directement dans les rotations mises en place sur ces territoires.

#### **b. La typologie structurelle**

La typologie structurelle construite par C. Tardivo dans sa thèse comprenait trois facteurs:

- la taille de l'exploitation (grande ou moyenne avec 100 ha comme valeur seuil)
- le niveau de spécialisation en lavandin (plus ou moins de 35% de la SAU en lavandin)
- l'accès à l'irrigation

Selon S. Vernet et N. Dermech, la surface en lavandin a fortement augmenté depuis 2013 et le critère "spécialisation en lavandin" n'est plus d'actualité puisque toutes les exploitations dépassent le seuil de 35% de SAU en lavandin.

Nous voulions aussi ajouter le critère des UTH/SAU sur lequel avait travaillé la promo PVD 2012-2013. Le RPG de 2016 ne permettant pas de remonter au niveau de l'exploitation agricole et ne contenant pas d'information sur les UTH/SAU, nous n'avons qu'un "dire d'expert" sur la répartition non-homogène des UTH/SAU et tailles d'exploitations sur le plateau. Cette information ne nous permet pas d'établir de typologie d'exploitation à proprement parler car elle est trop générale et très fortement liée au zonage. Nous avons seulement pu définir des zones avec des rapports UTH/SAU plus ou moins élevés.

Pour conclure sur la classification et construire nos scénarios, nous n'avons pas retenu de typologie structurelle d'exploitation agricole, mais uniquement un découpage du plateau en quatre zones où les exploitations sont supposées équivalentes au sein d'une même zone. Nous avons choisi de considérer que toute exploitation dans une zone couverte par le réseau de la SCP est en mesure d'irriguer ses cultures.

### *3. Zones retenues pour la définition de la situation actuelle et des scénarios*

La répartition des exploitations agricoles en fonction de la typologie n'étant pas possible, nous avons effectué un découpage du plateau en quatre grandes zones présentant les caractéristiques suivantes:

- La zone A : faible dépérissement – actuellement irrigable – important rapport UTH/SAU.
- La zone B : faible dépérissement – extension réseau d'irrigation – faible rapport UTH/SAU.
- La zone C : faible dépérissement – non irrigable - faible rapport UTH/SAU.

- La zone D : fort dépérissement – non irrigable – faible rapport UTH/SAU.

#### 4. *Représentation cartographique*

La représentation cartographique du zonage du plateau de Valensole a été faite grâce au système d'informations géographiques QGis. Chaque couche représente une zone du plateau associée à son parcellaire. Le parcellaire que nous utilisons est celui du RPG (Registre Parcellaire Graphique) de 2016, affiné aux parcelles sur le plateau de Valensole et dont nous avons exclu les estives et landes, les prairies permanentes, l'arboriculture, les vignes et vergers, et les occupations "divers" (majoritairement bordures, bois, ou autre parcelles non exploitées). Ainsi, nous conservons seulement les surfaces actuellement en grandes cultures et PPAM et nous ne prenons pas en compte l'élevage.

La zone A actuellement irrigable a été définie à partir du réseau d'irrigation actuel communiqué par la SCP. Nous avons supposé qu'à partir du réseau et des bornes d'irrigation, des tuyaux d'irrigations peuvent être tirés jusqu'à 2,5 km autour du réseau pour irriguer les champs à proximité. Nous avons donc défini la zone A en effectuant le pourtour du réseau dans un rayon de 2,5km (voir figure 1).

Nous avons défini la zone concernée par l'extension du réseau d'irrigation (zone B) grâce à nos entretiens avec la SCP. Cette zone, en terme de localisation et de faisabilité, est hypothétique et encore en cours de négociation. Nous avons donc pris les limites des communes potentiellement traversées par l'extension du réseau (le nord d'Allemagne-en-Provence et Valensole) car les limites précises du futur réseau d'irrigation et des étapes des travaux d'extension ne sont pas encore arrêtées.

Comme expliqué précédemment, la zone D, fortement touchée par le dépérissement, a été définie par C. Tardivo comme correspondant aux communes de St Jurs et de Puimoisson. La zone C, non irrigable et plus faiblement touchée par le dépérissement du lavandin, correspond au reste du plateau. Pour représenter graphiquement ces trois zones A, B et D, nous avons sélectionné le RPG croisant chacune des zones, et le reste est considéré comme étant dans la zone C. Pour plus d'explications sur le travail de cartographie sur QGis, se référer à la note explicative en annexe 3.

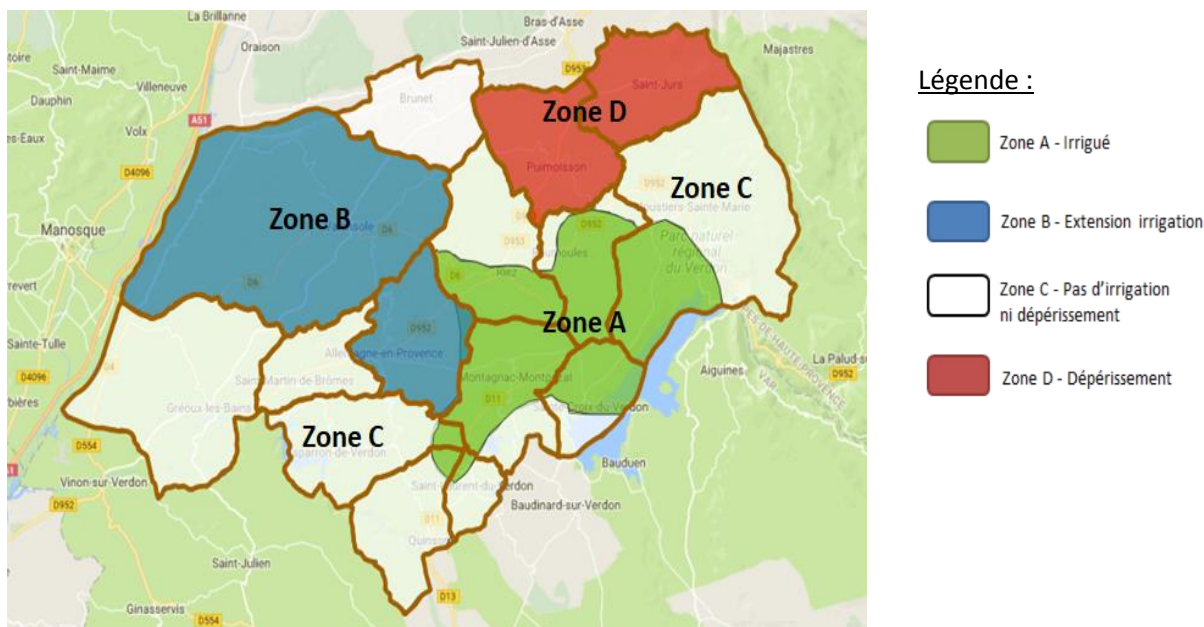


Figure 1 : Zonage du plateau de Valensole

## D. Méthode de construction des modèles des bilans hydrique et azoté

### 1. Démarche

Nous avons choisi de coder nos modèles sur R, car ce logiciel est en libre accès et adapté à nos objectifs. Tout au long du processus de création du modèle, nous avons cherché à être le plus transparents possible afin que la prise en main par de prochains utilisateurs soit facilitée.

L'objectif était de modéliser les bilans à l'échelle des parcelles, permettant l'extrapolation à l'échelle du plateau de Valensole. L'idée était de pouvoir comparer les systèmes entre eux, plus que de déterminer des valeurs absolues. Les modèles étant simplifiés à différents niveaux, nos résultats doivent être interprétés avec prudence.

### 2. Construction du modèle de bilan hydrique

#### a. Constitution de la base de donnée météo

Nous avons pu obtenir des données météorologiques complètes pour 18 années comprises entre 1980 et 2005 (via la SCP et l'INRA). A partir de ces données, nous avons constitué une base de données correspondant à 60 ans. Le détail est expliqué dans la partie "données météorologiques" de la note explicative du modèle (voir annexe 2).

#### b. Hypothèses

Plusieurs hypothèses permettant de simplifier la complexité des systèmes étudiés ont été nécessaires. D'une part sur l'aspect physique du milieu, nous avons considéré que la réserve utile est

de 60mm et qu'elle est constante sur le plateau. Il s'agit d'une approximation faite à partir d'une carte détaillée de la réserve utile du plateau (CHIGNIER, JC Lacassin, SCP). En considérant que le sol a une capacité de rétention d'eau de 0,13 mm/cm de sol, on obtient une profondeur de sol de 46 cm. D'autre part, sur l'aspect agronomique, nous avons considéré que les racines colonisent immédiatement le sol sur toute sa profondeur car elle est faible, donc rapidement atteinte. La croissance du lavandin est progressive les trois premières années puis elle devient négligeable. La culture atteint alors une interception maximum du rayonnement à partir de la troisième année (M. Fontaine, CRIEPPAM). Nous avons également supposé l'absence de compétition hydrique entre le lavandin et les plantes de couverture de l'inter-rang (H. Marrou, INRA).

Comme vu précédemment, certaines zones ont accès à l'irrigation. Pour celles-ci, nous avons estimé que l'irrigation était pilotée par déclenchement au seuil de FTSW (Fraction of transpirable soil water), car cela correspond globalement au pilotage actuellement opéré par les exploitants (E. Blanc-Coutagne, SCP). Pour chaque irrigation, nous apportons un volume de 50mm. Seules les cultures les plus sensibles sont irriguées: lentille et pois chiche de printemps, Lablab purpureus, et le lavandin car il a une très forte valeur ajoutée (J. Wery, INRA). Ces cultures sont présentées dans le tableau 3 de la partie « Résultats ». Pour modéliser l'évolution de la culture au pas de temps journalier, nous avons obtenu des dates de semis, d'émergence, de reprise de végétation, de floraison et de récolte à dire d'expert, il y a donc de légères approximations. A partir de ces dates, nous avons calculé la durée correspondante en degrés jours. L'ensemble de ces données a été regroupé dans un tableau (annexe 4).

Notre modèle ne prend pas un compte le ruissellement, qui était plus compliqué à modéliser et jugé moins important quantitativement.

### c. Démarche et équation

Pour calculer l'évaporation du sol nu et la transpiration des plantes, nous avons utilisé l'efficacité d'interception du rayonnement (RIE). Cette efficacité nous permet de modéliser de la même façon l'ensemble des cultures, pérennes ou annuelles. On peut également combiner les RIE s'il y a présence d'un inter-rang. La RIE vaut 0 si le sol est complètement nu, c'est-à-dire que la plante n'est pas encore sortie du sol et vaut 1 si la plante intercepte l'ensemble du rayonnement. En multipliant la RIE par le rayonnement et l'efficacité d'utilisation de ce dernier, on obtient la biomasse qui sert à calculer la transpiration.

L'objectif de notre bilan hydrique est d'estimer le drainage sur les parcelles agricoles étudiées. Or il y a drainage lorsque le stock d'eau présent dans le sol au *jour j* est supérieur à la quantité d'eau transpirable par la plante ce même jour. Nous avons donc modélisé ces deux variables:

- Eau transpirable maximale (TTSW) dans la zone d'enracinement: c'est le stock d'eau que le sol peut fournir à la plante dans sa zone d'enracinement, qui est donc fonction du type de sol. TTSW est assimilée à la réserve utile, car le sol est peu profond ainsi on considère que les racines le colonisent intégralement dès la levée (voir "hypothèses" en dessous)
- Eau transpirable (ATSW) dans la zone d'enracinement: cela correspond à la réserve en eau du jour (ATSW), calculée en retranchant à celle de la veille, la transpiration ( $Tr$ ), l'évaporation ( $E$ ) et en ajoutant les précipitations ( $P$ ) et l'irrigation ( $Ir$ ).



- On a  $ATSW(j)=ATSW(j-1)+P(j)+I_r(j)-Tr(j)-E(j)$ . Les modes de calcul des termes de l'équation sont développés dans la notice d'utilisation du modèle (annexe 2)  
Si  $ATSW_j > TTSW_j$ , il y a drainage ( $Dr$ ), avec  $Dr=ATSW-TTSW$ . Dans ce cas, on calcule à nouveau  $ATSW(j)$  en retirant le drainage :  $ATSW(j)=ATSW(j-1)+P(j)+I_r(j)-Tr(j)-E(j) - Dr(j)$
- Stock d'eau total: Cette variable représente le volume total d'eau présent dans le sol. Par exemple pour une réserve utile de 60 mm, nous avons un stock d'eau de 129 mm (calculé à partir de la profondeur de sol et l'humidité à la capacité au champ), il y a donc 69mm qui ne sont jamais disponibles pour la plante. Nous avons besoin de calculer ce stock car si la réserve utile est vide, et qu'il ne pleut pas, le stock continue de diminuer. Par la suite, lorsqu'il pleut, la réserve utile n'est pas forcément remplie, il faut d'abord que le stock se remplisse jusqu'à 69 mm puis l'eau supplémentaire sera disponible pour les plantes.

Les autres formalismes sont détaillés dans la note explicative du modèle en annexe 2.

### 3. Construction du modèle de bilan azoté

#### a. Calcul des indicateurs liés à l'azote : démarche et hypothèses

Ce modèle a pour objectif de calculer des indicateurs liés à l'azote, à l'échelle de la culture, de la rotation, et du territoire. En faisant le lien avec le drainage, il nous permet également d'estimer la concentration en  $NO_3$  dans l'eau de drainage. Enfin, il permet d'estimer les quantités produites des différentes cultures. Des explications plus détaillées sur le code utilisé sont disponibles dans la note explicative du modèle (annexe 5).

Le bilan apparent d'azote est calculé de la manière suivante pour chaque culture de la rotation :

Bilan N = Fertilisation minérale + Fixation atmosphérique – Azote exporté par la culture

On néglige plusieurs phénomènes, plus difficiles à estimer et moins importants quantitativement :

- L'apport de  $NO_3$  par l'eau d'irrigation ;
- La minéralisation de la matière organique du sol, des résidus de la culture précédente et des éventuels amendements organiques ;
- La volatilisation de l'azote.

Pour calculer les différents termes du bilan, nous avons besoin d'estimer le rendement (en paille et/ou en grains) de chaque culture. On part de rendements de base pour chaque culture, qui seront ensuite ajustés en fonction du précédent. Pour le blé, le rendement de base est de 35q/ha (CA04). Pour le lavandin, les rendements sont tirés de la thèse de C. Tardivo. Pour les légumineuses à graines et fourragères, ils se basent sur des dires d'experts. Ces rendements sont modifiés de la manière suivante :

- Nous faisons l'hypothèse que l'inter-rang permet de diminuer le dépérissement du lavandin, son rendement augmente donc de +15% en zone dépérissante en présence d'un inter-rang.
- Nous faisons l'hypothèse que si le blé est irrigué, son rendement augmente après une légumineuse (+10% après une annuelle et +20% après une pérenne)

A noter, une limite importante à ces estimations de rendement est qu'elles ne varient pas en fonction des conditions météorologiques.

#### **Calcul de la quantité de fertilisation minérale :**

Les hypothèses de calcul sont les suivantes :

- Les légumineuses ne reçoivent pas de fertilisation azotée ;
- La fertilisation de base pour le blé dur est de 3,5 unités d'N / q de rendement, c'est à dire Nous faisons l'hypothèse qu'elle est diminuée derrière une légumineuse si le blé n'est pas irrigué, de -20% après une annuelle et de -40% après une pérenne.
- Le lavandin reçoit 60 unités d'N par an à partir de la deuxième année.

#### **Calcul de la quantité d'azote atmosphérique fixé:**

Nous faisons l'hypothèse que 50% de l'azote contenu dans les légumineuses provient de la fixation atmosphérique. Dans la réalité, cette proportion est très variable d'une espèce à l'autre, d'une variété à l'autre, et surtout suivant les conditions du milieu. Elle peut aller de 0 à 90%. Nous avons choisi 50% pour représenter le fait que les légumineuses n'utilisent pas exclusivement l'azote atmosphérique.

#### **Calcul de l'azote exporté par la culture:**

La quantité d'azote exporté par la culture correspond au rendement de la partie exportée multiplié par sa teneur en N.

#### **b. Estimation des quantités produites**

Comme notre modèle nous permet d'estimer les rendements corrigés par le précédent, nous nous en servons également pour estimer les quantités de chaque culture produites par les différentes rotations.

#### **c. Spatialisation des résultats**

Les indicateurs liés à l'azote et à la production sont calculés successivement à différentes échelles :

- Individuellement pour chaque culture d'une rotation donnée ;
- Au total et en moyenne par an pour chaque rotation ;
- Pour chaque scénario, zone par zone et sur l'ensemble du plateau.

Pour passer à l'échelle des zones et du plateau, il faut intégrer les proportions des différentes rotations dans chaque scénario. La manière dont nous avons choisi de coder cette étape est décrite dans la note explicative et annotée dans le script.

### *4. Mise en connexion des deux bilans pour estimer la concentration en nitrates dans l'eau de drainage*

Il est nécessaire d'estimer la quantité d'azote lixiviée pour pouvoir calculer la concentration en nitrates dans l'eau de drainage. Le bilan d'azote précédent (Nfix+Ferti-Exports) donne des valeurs souvent négatives (déficit structurel d'N), sauf pour les années en blé.

Pour ne pas considérer que les années déficitaires compensent les excès d'N des années en blé, nous faisons l'hypothèse que tout ce qui est en excès est lixivié dans la même année. Au niveau des calculs, cela vient à ramener à 0 toutes les valeurs négatives de bilan d'N.

De plus, inclure Nfix dans les entrées du bilan revient à considérer que l'azote fixé par les légumineuses est lixiviable au même titre qu'un excédent de fertilisation minérale. La meilleure solution serait de faire intervenir un coefficient de minéralisation ; par manque de temps, nous avons décidé d'enlever l'azote atmosphérique fixé du calcul de l'excédent d'azote.

Finalement, nous calculons donc l'excédent structurel d'azote minéral de la manière suivante :

$$\text{ExcèsNmin} = \text{Fertilisation minérale} - \text{Azote exporté par la culture} = 0 \text{ si } < 0$$

La totalité de cet azote minéral excédentaire est considérée comme lixiviée. Elle est convertie en nitrates de la manière suivante :

$$\text{NO}_3 = 68/14 * \text{N}$$

Nous la divisons enfin par la quantité d'eau drainée tirée du bilan hydrique pour obtenir une estimation de la concentration en nitrates de l'eau de drainage.

### III. Résultats

#### A. Zonage du plateau de Valensole dans le cadre de l'étude

Comme détaillé dans la partie Matériel et Méthode, le logiciel Qgis nous a permis de découper une sélection du RPG 2016 en quatre zones selon le niveau de dépérissement du lavandin (zone fortement touchée par le dépérissement = zone D ; plus faiblement touché par le dépérissement = le reste du plateau) et le réseau d'irrigation de la SCP (irrigation actuelle = zone A ; extension vers Valensole = zone B ; non-irrigable = le reste du plateau). La zone C correspond au croisement entre la part de plateau qui ne sera pas irrigable et celle faiblement touchée par le dépérissement, soit tout ce qui reste en dehors des zones A, B et D. La figure 2 ci-dessous représente schématiquement ces zones sur le plateau.

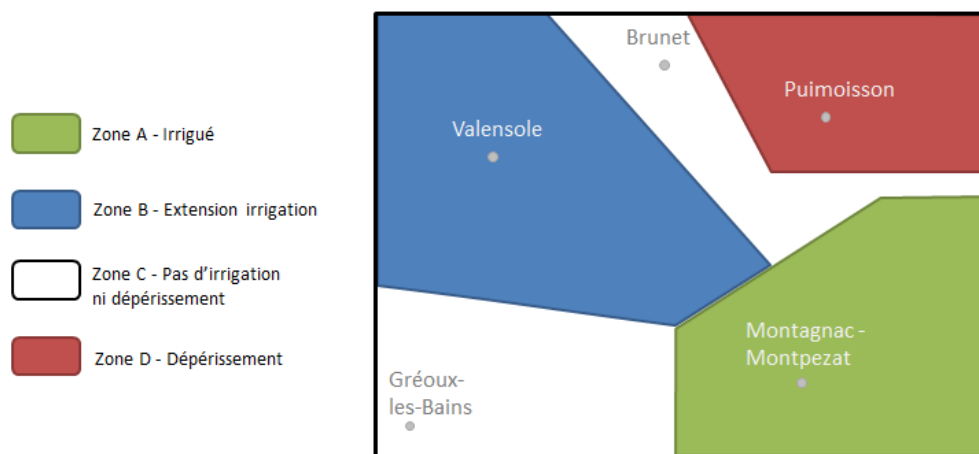


Figure 2 : Représentation schématique des zones en grande culture du plateau de Valensole

On peut visualiser sur la figure 3 ci-dessous l'étendue de chaque zone en pourcentage de l'assolement sélectionné sur le plateau de Valensole. On peut donc constater que si près d'un tiers des cultures de lavande, blé dur et colza sont déjà en zone irrigable, on peut espérer que presque 60% de ces surfaces soient irrigables à l'avenir grâce à l'extension du réseau d'irrigation en direction de Valensole.

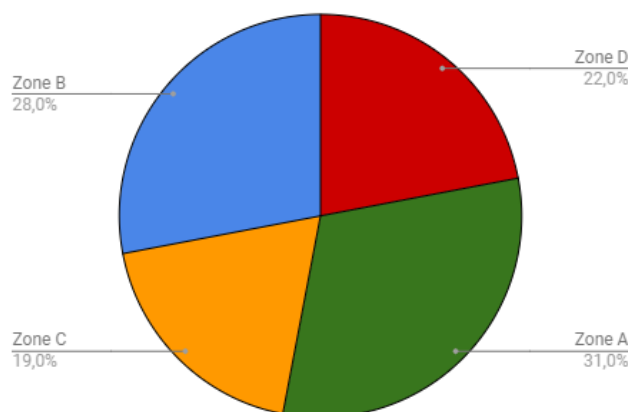


Figure 3 : Répartition des surfaces agricoles conservées pour l'étude en fonction du zonage établi

## B. Situation initiale sur le plateau de Valensole

Les assolements théoriques présents actuellement sur le plateau sont :

- Zone A : Lavandin irrigué (10 ans) - Blé dur - Blé dur - Colza - Blé dur - Blé dur, soit une rotation sur 15 ans.
- Zones B et C : Lavandin non irrigué (10 ans) - Blé dur - Blé dur - Colza - Blé dur - Blé dur, soit une rotation sur 15 ans.

- Zone D : Lavandin non irrigué (4 ans) - Blé dur, soit une rotation sur 5 ans.

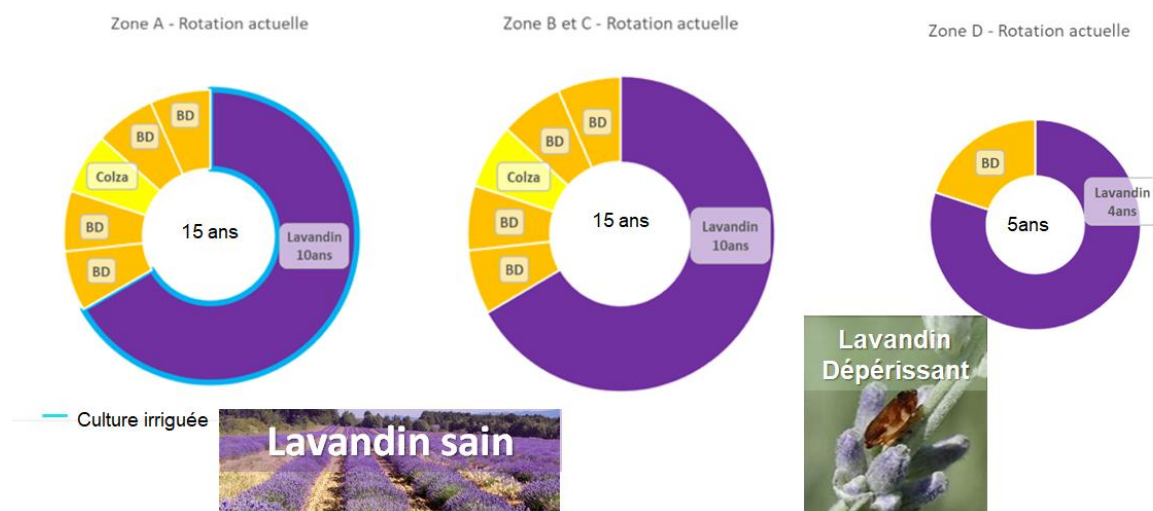


Figure 4 : Représentation schématique des rotations théoriques actuellement présentes sur la zone étudiée

Les zones fortement touchées par le dépérissement ont une durée de culture du lavandin de quatre ans, ce qui est faible, et un délai de retour très rapide : un an. L'étude réalisée par les étudiants de PVD en 2013 sur le plateau a révélé que face à des dates d'arrachages de plus en plus précoces, les agriculteurs sont confrontés à la difficulté croissante de rentabiliser la culture. Ils peuvent donc avoir tendance à augmenter la surface de lavandin au détriment de la surface des grandes cultures ce qui diminue d'autant le temps de retour du lavandin. En revanche, dans les zones plus faiblement touchées par le dépérissement le lavandin est cultivé durant dix ans et son délai de retour est de cinq ans en moyenne ce qui permet d'augmenter le nombre d'espèces cultivées dans la rotation.

Le zonage du plateau nous a permis de calculer les surfaces réelles correspondant aux assolements des trois cultures retenues dans les assolements théoriques (à savoir lavande/lavandin, blé dur et colza). Pour ce faire, nous avons sélectionné les parcelles actuellement occupées par ces cultures dans la table attributive du RPG 2016 et reporté ces surfaces en hectares dans le tableau 1 ci-dessous.

Tableau 1 : assolements actuels en culture des différentes zones (RPG 2016)

| Surface assolements par culture (ha) : | Zone A      | Zone B      | Zone C      | Zone D      | Total Plateau |
|--|-------------|-------------|-------------|-------------|---------------|
| Lavande                                | 1689        | 1480        | 778         | 1470        | <b>5417</b>   |
| Blé dur                                | 1297        | 1092        | 932         | 673         | <b>3994</b>   |
| Colza                                  | 137         | 243         | 144         | 0           | <b>524</b>    |
| <b>Somme des surfaces</b>              | <b>3123</b> | <b>2815</b> | <b>1854</b> | <b>2143</b> | <b>9935</b>   |

La somme de ces surfaces par zone sont utiles pour nos scénarios mais permettent aussi de vérifier les hypothèses d'assolements que nous avons définies à dire d'experts (figure 4).

Pour vérifier la cohérence de l'hypothèse de ces rotations initiales, nous avons vérifié l'écart entre le pourcentage théorique de l'assolement en lavandin sur chaque zone avec le pourcentage réel (tableau 2 ci-dessous). L'assolement théorique a été calculé selon l'hypothèse que la rotation initiale d'une zone en occupe toute la surface. Ainsi, si on prend l'exemple d'une rotation de quinze ans, le lavandin reste en place dix ans. Le pourcentage d'assolement théorique est donc de  $10/15=67\%$  de la zone. Par contre, pour l'assolement réel on se réfère au tableau 1 ci-dessus et le pourcentage est donc le rapport de la SAU en lavandin sur la somme des SAU des trois cultures ciblées (exemple :  $1689/3123=54\%$  de la zone A).

**Tableau 2 : Evaluation du réalisme des assolements théoriques**

| <i>Pourcentage assolement en lavandin par zone:</i> | Zone A | Zone B | Zone C | Zone D |
|---|--------|--------|--------|--------|
| Théorique   | 67%    | 67%    | 67%    | 80%    |
| Réel  | 54%    | 53%    | 42%    | 69%    |
| Ecart   | 13%    | 14%    | 25%    | 11%    |

On observe donc dans le tableau 2 une différence moyenne de 16%, ce qui nous permet de valider notre hypothèse faite sur les rotations, même si l'écart sur la zone C reste relativement important.

## C. Définition des scénarios de développement des légumineuses

### 1. *Espèces de légumineuses choisies*

Les propositions de rotations alternatives s'articulent autour de cinq grands types de cultures : les légumineuses à graines alimentaires, les légumineuses fourragères, les protéagineux, les couverts d'inter-culture et les couverts d'inter-rang de lavandin. Pour choisir les espèces, les critères ont été les suivants : leur adaptation au contexte-pédoclimatique, leurs caractéristiques agronomiques et le positionnement de leur cycle afin d'obtenir des rotations cohérentes et respectant les contraintes fixés. Les espèces sélectionnées sont répertoriées dans le tableau 3.

Tableau 3 : Caractéristiques des légumineuses sélectionnées

| Type de légumineuse                          | Cultivable en zone non irriguée | Annuelle ou pérenne |
|--|---------------------------------|---------------------|
| <b>A graines pour l'alimentation humaine</b> |                                 |                     |
| Pois chiche                                  | Oui                             | annuelle            |
| Lentille                                     | Non                             | annuelle            |
| <b>Fourragère</b>                            |                                 |                     |
| Luzerne                                      | Non                             | pérenne (3ans)      |
| Sainfoin                                     | Oui                             | pérenne (2ans)      |
| Vesce/avoine                                 | Oui                             | annuelle            |
| <b>D'inter-culture</b>                       |                                 |                     |
| Lablab Purpura (tropicale)                   | Non                             | annuelle            |
| <b>En inter-rang du lavandin</b>             |                                 |                     |
| Féverole                                     | Oui                             | annuelle            |
| Sainfoin                                     | Oui                             | pérenne             |
| <b>Protéagineuse</b>                         |                                 |                     |
| Pois protéagineux                            | Oui                             | annuelle            |

Ces espèces correspondent à des idéotypes, c'est à dire qu'elles pourraient être substituées par d'autres espèces dont la conduite et les caractéristiques agronomiques sont similaires. Notons que la lentille n'est possible que si l'irrigation est disponible car c'est une culture sensible au stress hydrique. Le lablab est une légumineuse tropicale qui présente l'intérêt de produire une biomasse abondante, fixer de l'azote et ne nécessite pas d'intervention (travail du sol ou herbicide) pour sa destruction. Une irrigation est nécessaire pour permettre sa levée en juillet juste après la récolte du précédent. Le semis de la culture suivante peut-être réalisé directement dans les résidus de lablab. Le

pois chiche et la lentille d'automne ne seront a priori pas irrigués alors que la lentille de printemps et le pois chiche de printemps le seront.

## 2. *Principes respectés pour la construction des rotations alternatives*

Nous avons fait l'hypothèse que l'accès aux semences n'est pas limitant, que les débouchés existent et que les sangliers ne sont pas un frein à l'implantation de légumineuses pour les agriculteurs.

Le premier principe qui a été respecté pour construire les rotations alternatives est celui de ne pas diminuer la surface de lavandin pour une raison d'acceptabilité de nos propositions par les agriculteurs. En effet, le lavandin est la principale source de revenu des exploitations du plateau, il semble peu réaliste que les agriculteurs en réduisent les surfaces. Un rapide calcul de chiffre d'affaire nous le montre. Un lavandin en sec non déperissant donne un rendement de 100 kg d'huile essentielle valorisée à 22€/kg (d'après communication personnelle d'un agriculteur). Il dégage donc un chiffre d'affaire de 2200€/ha. En revanche, le blé dur produit 3,5 T en moyenne sur le plateau, valorisé à 160€/T, donnant un chiffre d'affaire de 875€/ha. La différence est telle que l'on a préféré introduire des légumineuses en remplacement du blé dur et du colza.

Dans un second temps, des contraintes agro-environnementales ont été prises en compte. Afin de ne pas prendre de risque sanitaire trop important, le temps de retour des légumineuses est de deux ou quatre ans selon les espèces. Nous avons fait l'hypothèse que la légumineuse d'inter-culture tropicale ne partage pas de maladies avec les autres espèces, ce qui permet de la cultiver juste avant un pois chiche de printemps par exemple. Aussi, dans le contexte de directive nitrates, une attention particulière a été donnée au nombre de mois de sol nu dans l'année. Nous avons tenté de les minimiser en intégrant des inter-cultures.

Dans un troisième temps, nous avons dû identifier et respecter les contraintes majeures intrinsèques à chaque zone pour proposer des légumineuses cohérentes avec le zonage du plateau. Les contraintes prises en compte sont l'accès à l'irrigation, la présence de déperissement sur le lavandin, la taille de l'exploitation et le nombre d'UTH/SAU disponible. Une fois les contraintes précédentes prises en considération, nous avons choisi de proposer une rotation orientée alimentation humaine et une rotation orientée alimentation animale. Dans les cas où cela est possible, on propose également une rotation avec des légumineuses de printemps et une autre avec des légumineuses d'automne. L'intérêt d'introduire des légumineuses de printemps dans les rotations est de casser le cycle des adventices d'automne qui sont calées sur le cycle du blé. En revanche, les légumineuses d'automne bénéficient d'un cycle plus long et peuvent valoriser les pluies d'automne et d'hiver, ce qui leur permet potentiellement d'atteindre un rendement plus élevé.

## 3. *Propositions de rotations intégrant des légumineuses*

Pour lire les schémas présentés dans cette partie, il faut comprendre que le cercle extérieur correspond à la rotation incluant des légumineuses de printemps et le cercle intérieur correspond à la rotation incluant des légumineuses d'automne. Ces deux rotations présentées sur le même schéma



ne peuvent pas avoir lieu simultanément, elles constituent chacune une alternative. Le contour bleu signifie que la culture est irriguée. Les abréviations utilisées sont les suivantes :

PC : Pois chiche

Lent. : Lentille

Sainf. : Sainfoin

BD : Blé dur

Pois Prot. : Pois protéagineux

La zone A est la zone qui subit le moins de contraintes (pas de dépérissement, accès à l'irrigation, exploitations avec beaucoup d'UTH/SAU), c'est donc la zone où nous avons pu proposer la plus grande diversité de légumineuses. La durée de la rotation de change pas, elle reste de quinze ans. Les rotations sont présentées dans la figure 5.

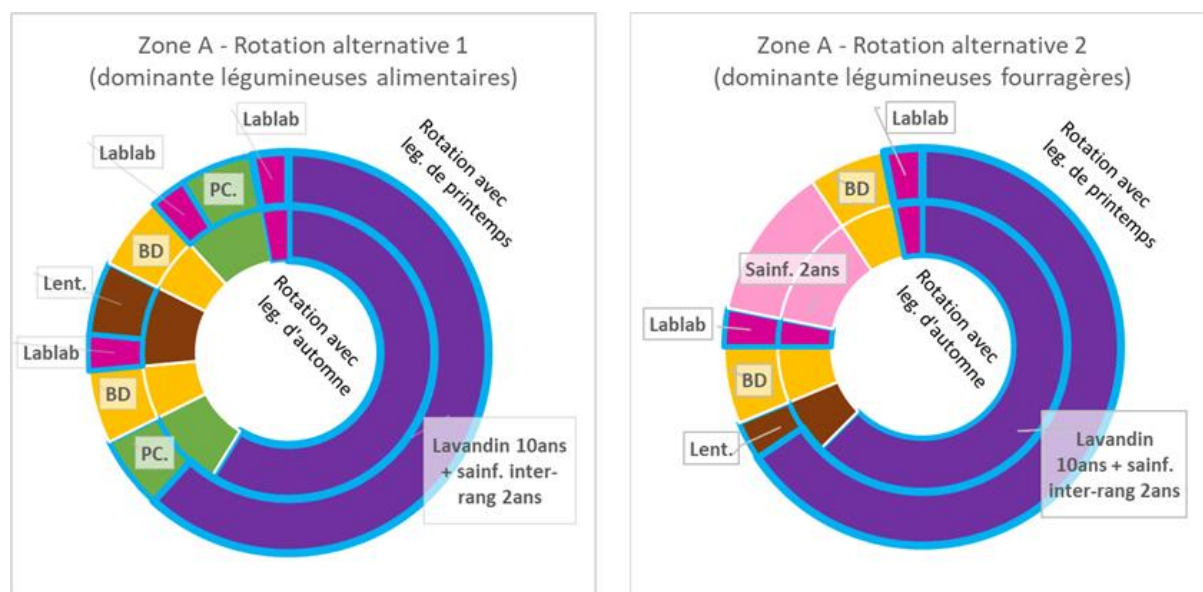


Figure 5 : Représentation schématique des rotations alternatives sur la zone A

En cas de sol nu entre le 23/09 et 01/12 une inter-culture de Lablab est semée juste après la récolte de juillet. Les inter-rangs du lavandin sont couverts par du sainfoin les deux premières années. Ceci permet de couvrir le sol (limiter l'érosion) et de réduire l'utilisation d'herbicides, c'est effectivement les deux premières années que les plants de lavandin sont peu compétitifs face aux adventices. Comme le lavandin est irrigué, on considère qu'il est possible de semer ce couvert sur toute la largeur de l'inter-rang sans occasionner trop de concurrence hydrique. Les calendriers des différentes rotations sont présentés en annexe 6.

La rotation alternative 1 - Zone A : par rapport à la rotation actuelle, le colza et 2 blés dur sont remplacés par le pois chiche et la lentille. En faisant l'hypothèse que le lavandin a tendance à "épouser le sol", on privilégie la culture d'une légumineuse juste après les dix ans de lavandin, permettant un enrichissement du sol en azote, qui permettra d'augmenter le potentiel de rendement du blé dur.

Cette succession permet aussi de maximiser au nombre de trois les légumineuses à graines pour l'alimentation humaine dans cette rotation. La rotation alternative 2 - zone A est orientée alimentation animale, on introduit donc le sainfoin.

La zone B ne présente pas de contrainte forte de dépérissement et on considère que le réseau d'irrigation y sera étendu d'ici à dix ans. Sa seule différence avec la zone A concerne le nombre d'UTH/SAU qui est moindre. La durée de la rotation de change pas, elle reste de quinze ans. Les rotations sont présentées dans la figure 6. Les calendriers des différentes rotations sont présentés en annexe 6.

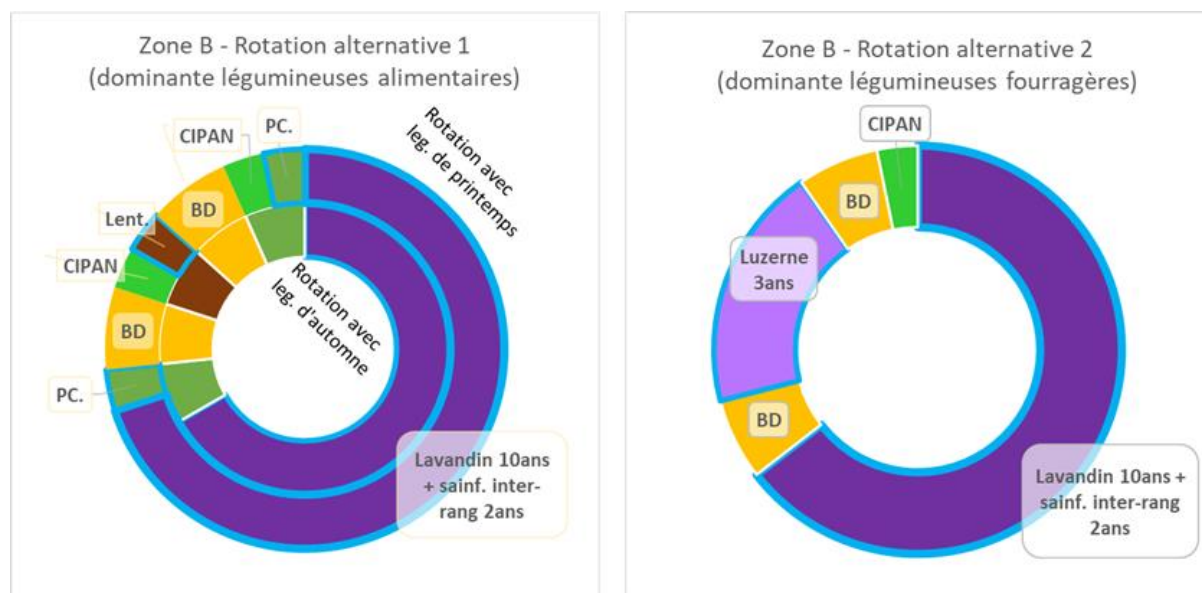


Figure 6 : Représentation schématique des rotations alternatives sur la zone B

Nous avons donc veillé à ne pas augmenter le temps de travail (estimation qualitative), en éliminant l'inter-culture de lablab car le semis de cette culture a lieu au même moment que la récolte du lavandin en juillet. En cas de besoin de couvrir le sol, nous proposons de laisser les repousses de la culture précédente jusqu'au semis de la culture suivante. La rotation alternative 2 (fourragère), contient de la luzerne durant trois ans, ce qui permet de limiter le temps de travail.

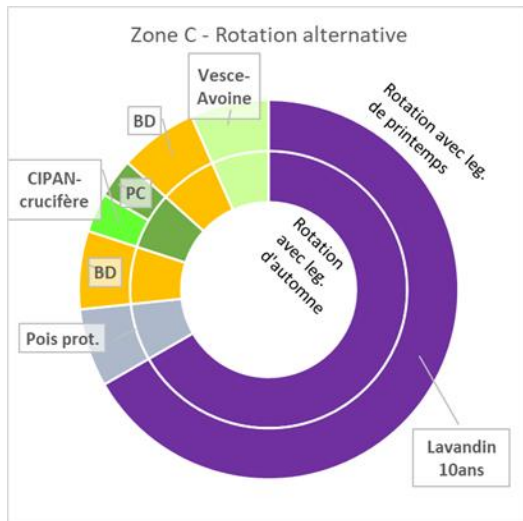


Figure 7 : Représentation schématique de la rotation alternative sur la zone C

La zone C est contrainte par l'absence d'irrigation et un UTH/SAU faible dans les exploitations. La durée de la rotation de change pas, elle reste de quinze ans.

La contrainte hydrique nous a conduits à éliminer les couverts d'inter-rang et à ne pas proposer la lentille mais le pois protéagineux, comme présenté dans la figure 7. Les inter-cultures se limitent aux repousses comme en zone B. La vesce/avoine présente l'intérêt de rester en place de novembre de l'année N à janvier de l'année N+1 avant de planter le lavandin.

La zone D est la zone la plus fortement contrainte car elle est sujette au dépérissement, elle n'a pas accès à l'irrigation et les exploitations ont globalement peu d'UTH/SAU. Pour cette zone nous avons donc choisi de sécuriser les revenus en intégrant une légumineuse de rente à la place du blé comme présenté dans la figure 8. Nous avons mobilisé un levier agronomique pour limiter le dépérissement en proposant un inter-rang composé en première année d'un triticale et en deuxième année d'une féverole. Ces deux espèces mesurent plus de 40 cm, ce qui correspond à la limite de hauteur que peut franchir la cicadelle responsable de la transmission du phytoplasme du dépérissement. Ce couvert n'est pas implanté sur toute la largeur de l'inter-rang pour ne pas faire trop de concurrence hydrique au lavandin. On ne l'implante que les deux premières années car c'est à ce stade que la culture est la plus sensible. La durée de la rotation est de six ans, car on considère que le dépérissement sera diminué et le lavandin durera cinq ans et non plus quatre comme c'est le cas dans la rotation initiale. Les calendriers des différentes rotations sont présentés en annexe 6.

La zone D est la zone la plus fortement contrainte car elle est sujette au dépérissement, elle n'a pas accès à l'irrigation et les exploitations ont globalement peu d'UTH/SAU.

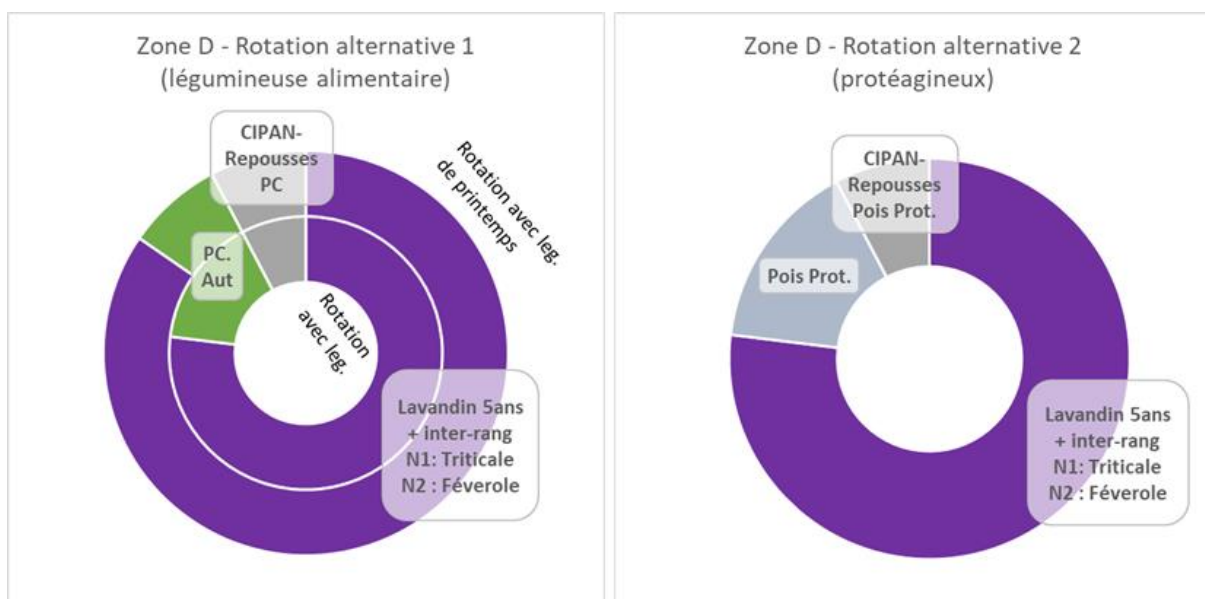


Figure 8 : Représentation schématique des rotations alternatives sur la zone D

## 4. Scénarios alternatifs

### a. Elaboration des scénarios

Nous avons combiné les propositions de rotations explicitées ci-dessus de différentes manières afin d'établir cinq scénarios d'introduction de légumineuses sur l'ensemble du plateau.

Le premier scénario est un scénario "100% de légumineuses à alimentation humaine". Le contexte actuel de crise de l'élevage et la baisse de consommation de protéines animales nous ont amenés à proposer un scénario qui met l'accent sur les légumineuses à alimentation humaine. En effet celles-ci se valorisent sur des marchés plus porteurs que les fourrages et représentent donc des cultures aux débouchés plus sécurisants que l'alimentation animale.

Le deuxième scénario est un scénario de "couverture du sol maximale". Nous avons souhaité faire ce scénario afin de pallier les problèmes d'érosion hydrique et éolienne qui prennent de l'ampleur sur le plateau. De plus, la directive nitrate récemment adoptée oblige la couverture des sols agricoles du 23 septembre au 1<sup>er</sup> décembre. Nous avons donc utilisé cette obligation réglementaire pour tester les impacts d'un scénario faisant la part belle aux cultures d'automne et aux CIPAN.

Le troisième scénario est un scénario "à l'équilibre", c'est à dire dans lequel toutes les propositions sont présentes en proportions égales au sein de leurs zones (y compris les versions de printemps et d'automne des propositions). Nous avons choisi d'étudier un tel scénario afin d'essayer de modéliser la diversité présente au sein de chaque zone.

Le scénario quatre contient un maximum de légumineuses de printemps et le scénario cinq contient un maximum de légumineuses d'automne. La comparaison de ces deux derniers scénarios nous permet donc de simuler les différences d'impacts entre des cultures d'automne et des cultures de printemps.

Le tableau 4 ci-dessous représente les pourcentages de chaque proposition de rotation pour chacun des cinq scénarios, sur chacune des quatre zones.

Tableau 4 : Importance des rotations dans chaque zone et pour chaque scénario

| SCÉNARIO |            |           | I                             | II                         | III                     | IV                             | V                            |
|----------|------------|-----------|-------------------------------|----------------------------|-------------------------|--------------------------------|------------------------------|
| Objectif |            |           | Que légumineuses alimentaires | Couverture du sol maximale | Tout en même proportion | Rotation 1 et 2 tout Printemps | Rotation 1 et 2 tout Automne |
| ZONE A   | Rotation 1 | Automne   | 50%                           | 50%                        | 25%                     | non                            | 50%                          |
|          |            | Printemps | 50%                           | non                        | 25%                     | 50%                            | non                          |
|          | Rotation 2 | Automne   | non                           | 50%                        | 25%                     | non                            | 50%                          |
|          |            | Printemps | non                           | non                        | 25%                     | 50%                            | non                          |
| ZONE B   | Rotation 1 | Automne   | 50%                           | non                        | 33%                     | non                            | 50%                          |
|          |            | Printemps | 50%                           | non                        | 33%                     | 50%                            | non                          |
|          | Rotation 2 | -         | non                           | 100%                       | 33%                     | 50%                            | 50%                          |
| ZONE C   | Rotation 1 | Automne   | 50%                           | 100%                       | 50%                     | non                            | 100%                         |
|          |            | Printemps | 50%                           | non                        | 50%                     | 100%                           | non                          |
| ZONE D   | Rotation 1 | Automne   | 50%                           | 33%                        | 33%                     | non                            | 50%                          |
|          |            | Printemps | 50%                           | 33%                        | 33%                     | 50%                            | non                          |
|          | Rotation 2 | -         | non                           | 33%                        | 33%                     | 50%                            | 50%                          |

#### b. Projection des surfaces de légumineuses sur le plateau

Concernant les rotations proposées et les proportions de chacune d'elles dans les différents scénarios, on peut observer une surface constante occupée par des légumineuses à l'échelle du plateau de Valensole : 2000 ha. Cette surface correspond donc à leur potentiel de développement sur les surfaces actuellement occupées par le lavandin, le blé dur et le colza. La figure 9 ci-dessous montre la répartition des différentes légumineuses que l'on propose d'implanter sur le plateau, en sommant les propositions faites pour chaque zone dans les cinq scénarios.

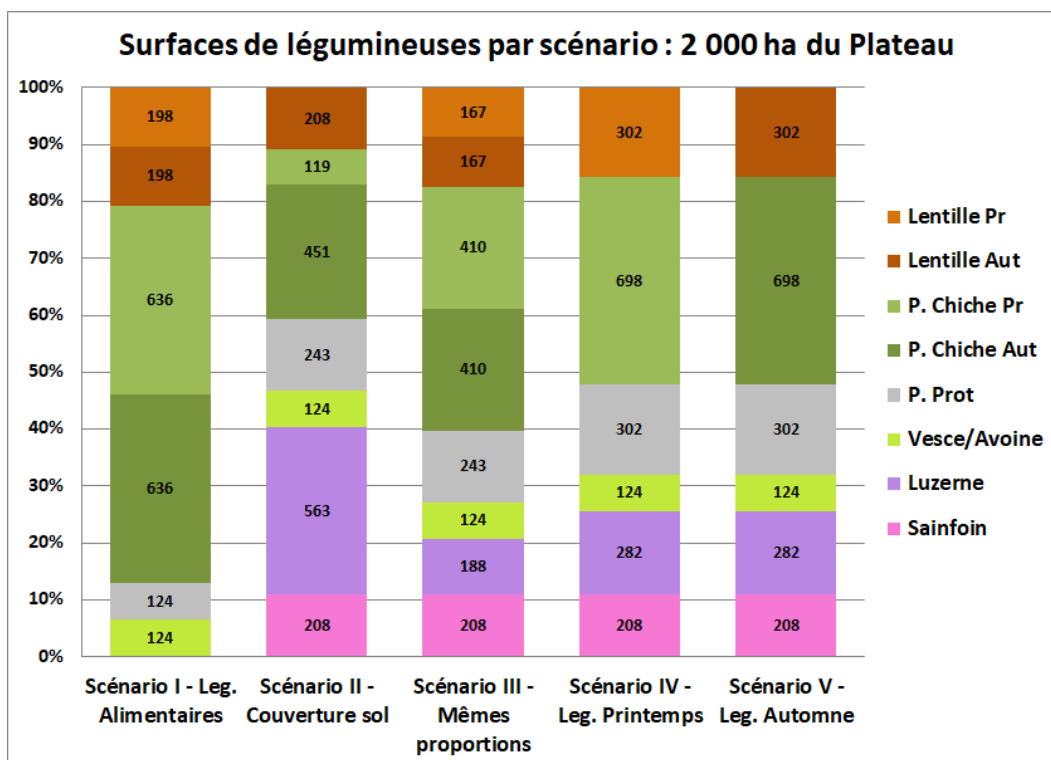


Figure 9 : Part de chaque espèce dans la surface totale de légumineuses

## D. Résultats des simulations des scénarios

### 1. Indicateurs des bilans hydriques et azotés

Comme présenté dans la partie “choix des indicateurs”, nous avons modélisé la fertilisation en azote minéral, la quantité d’azote fixé et l’excédent structurel d’azote minéral à l’échelle du plateau. Les sorties du modèle pour chacun des scénarios sont présentées dans les graphiques ci-dessous. La légende des couleurs détaillée en figure 10 est la même pour tous les graphiques de cette partie.

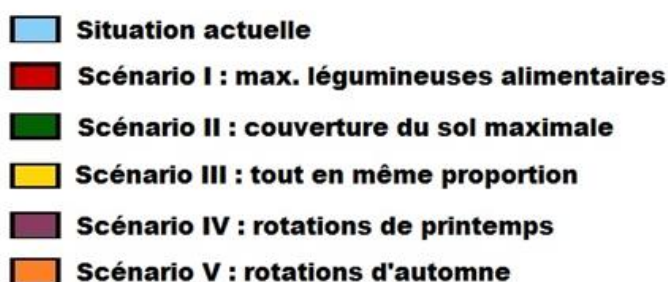


Figure 10 : Légende des couleurs des graphiques de résultat

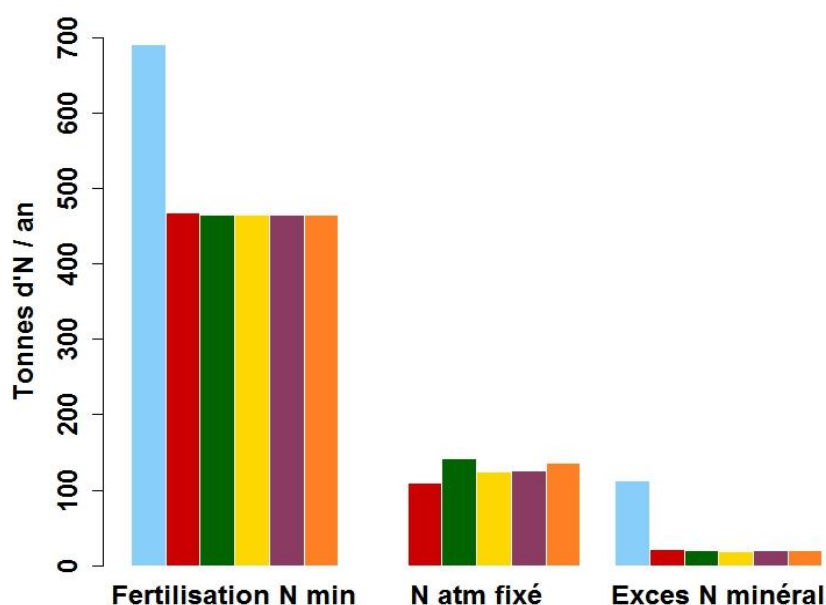


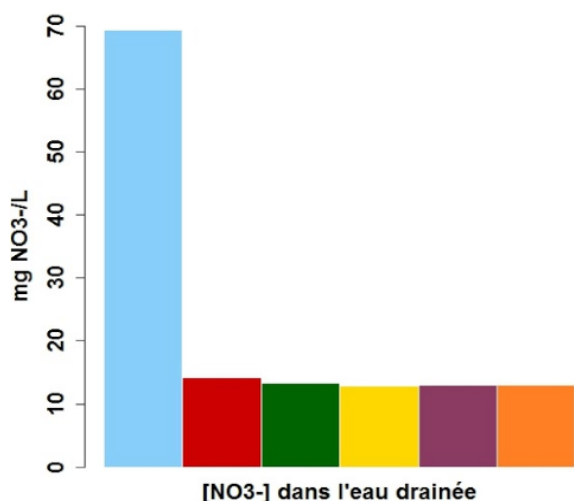
Figure 11 : Graphique présentant les résultats de 3 indicateurs issus du modèle de bilan azotée

La figure 11 ci-dessus présente trois graphiques traitant de la fertilisation azotée minérale, de l'azote atmosphérique fixé et de l'excès d'azote minéral.

Premièrement, on observe que la fertilisation en azote minéral est fortement réduite dans tous nos scénarios d'environ 30%. Cette diminution s'explique par le fait que dans tous les scénarios, les surfaces en blé, culture exigeante en azote, ont été réduites au profit de légumineuses qui ne nécessitent pas de fertilisation azotée. De plus, les cultures de blé sont considérées comme moins fertilisées lorsqu'elles succèdent à une légumineuse (dans les systèmes conduits en sec). Cette réduction de l'apport d'azote minéral peut être directement reliée à une économie en énergie de 2 612 000 tonnes d'équivalent CO<sub>2</sub>, celle nécessaire à la production et l'épandage de ces fertilisants. Notons que les différences sont faibles entre les scénarios car le principal facteur (la surface en blé) était modifié de manière identique entre eux.

Deuxièmement, il apparaît que nos scénarios permettent l'entrée dans le système d'azote atmosphérique grâce aux légumineuses à hauteur d'environ 100 tonnes d'azote par hectare et par an comme le montre le deuxième graphique de la figure 11.

Troisièmement, les excès en azote minéral (représentés par le troisième graphique de la figure 11) sont réduits de 80% en moyenne. Ils sont issus de la fertilisation, donc cet indicateur est à relier avec la baisse de fertilisation que nous avons analysée plus haut. C'est un des indicateurs qui permet d'estimer la lixiviation des nitrates, cependant aucune conclusion ne peut être tirée sans estimation des eaux de drainage.



La concentration en nitrate dans les eaux de drainage est un enjeu important sur le plateau, nous l'avons estimée par notre modèle de bilan azoté. Le graphique de la figure 12 montre comment l'introduction des légumineuses dans nos scénarios a permis de baisser la concentration des nitrates dans l'eau de drainage de près de 80%. Cette baisse peut s'expliquer comme vu précédemment par la baisse de la fertilisation et donc des excès d'azote dans le sol (figure 11).

Figure 12 : Graphique présentant les résultats de l'indicateur du risque de pollution des nappes

## 2. Indicateurs de production

Un autre indicateur que nous avons évalué est la production des groupes de cultures de nos

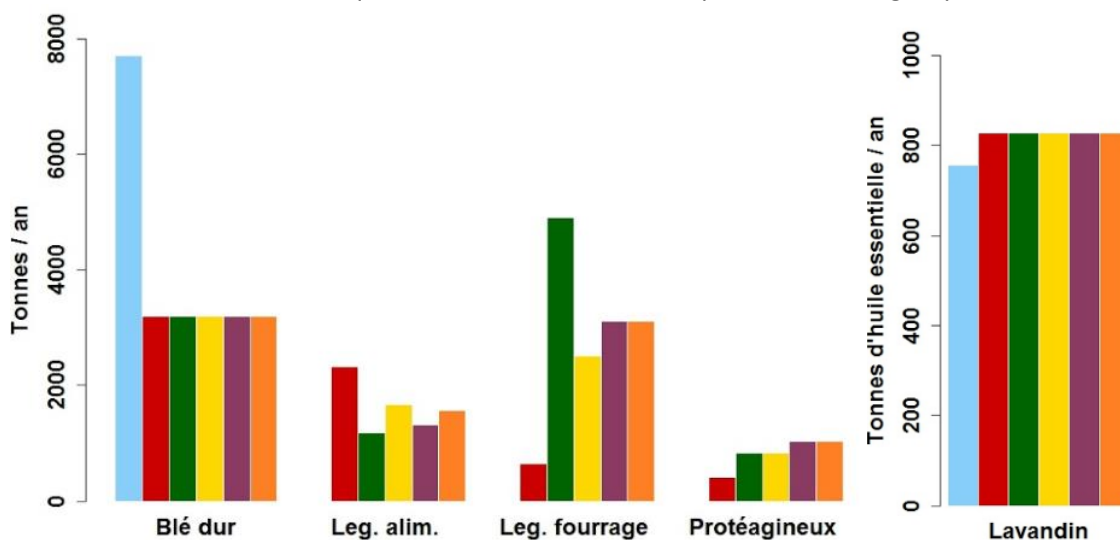


Figure 13 : Graphique présentant les sorties des indicateurs de production

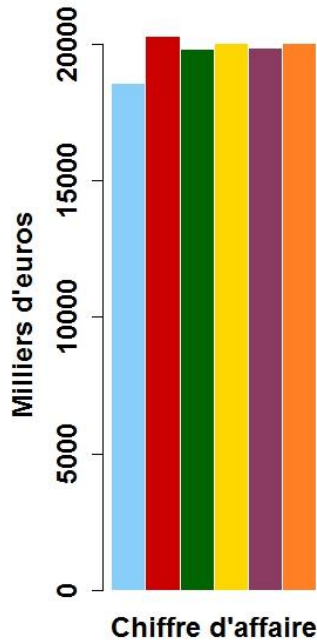
nouvelles rotations : blé dur, légumineuses alimentaires, fourragères, protéagineux (en tonnes), et lavandin (en tonnes d'huile essentielle) par an. Les graphiques de la figure 13 mettent en avant les différences et similitudes entre scénarios et par rapport à la situation actuelle.

On observe que l'on divise par deux la production de blé dur par rapport à la situation actuelle, mais elle est identique d'un scénario à l'autre. Cela vient du fait que l'on a diminué les surfaces de blé dur dans nos propositions de rotations et que les différentes rotations alternatives pour une zone produisent les mêmes quantités de blé dur. De plus, on n'augmente pas le rendement pour le blé dur en sec après une légumineuse.

A l'inverse, l'augmentation d'un an de la durée du lavandin dans la zone D nous permet d'augmenter légèrement le tonnage d'huile essentielle de lavandin par rapport à la situation initiale.



La production des différentes catégories de légumineuses est influencée logiquement par les scénarios : plus de production de légumineuses alimentaires dans le scénario I les mettant en avant et, à l'inverse, une part plus importante de fourrage dans le scénario II où l'on maximise la couverture du sol, notamment par les cultures pérennes.



La figure 14 ci-contre présente les variations de chiffres d'affaire à l'échelle du plateau. Ce chiffre d'affaire a été construit en multipliant le prix de vente espéré par le rendement attendu. On observe que globalement les scénarios génèrent en moyenne plus de chiffre d'affaire que la situation initiale (en bleu clair). Cette variation est principalement due à l'impact des zones B et D sur le plateau. En effet, la zone B a de meilleurs rendements en lavandin dû à l'arrivée de l'irrigation. La zone D a également de meilleurs rendements en lavandin par hypothèse : allongement d'un an de la culture de lavandin et meilleurs rendements grâce à l'effet bénéfique supposé de l'inter-rang de féverole/triticales. Ces résultats nous montrent donc que malgré la diminution de surfaces en blé dur au profit de légumineuses, le lavandin reste le principal facteur économique du plateau.

Figure 14 : Graphique présentant les résultats d'un indicateur de performance économique

## IV. Discussion

Une contrainte de notre projet est celle du temps. En effet, nous avons eu seulement cinq semaines pour l'intégralité du projet. Même si nous étions dix, cela ne nous a pas permis de complètement vérifier toutes nos hypothèses auprès de chaque expert comme nous l'aurions souhaité.

Notre travail comporte d'importantes simplifications concernant le zonage du plateau et les rotations initiales présentes au sein de chaque zone. Ces simplifications étaient essentielles pour proposer de nouvelles rotations et simuler des scénarios à l'échelle du plateau. Avec plus de temps et plus de données spatialisées sur les exploitations agricoles, il serait possible d'affiner ce travail pour se rapprocher de la réalité agricole du plateau.

Les bilans hydriques et d'azote comportent également des hypothèses simplificatrices. Par exemple, le bilan d'azote apparent est calculé au pas de temps annuel, et ne permet donc pas de tenir compte des dynamiques intra-annuelles des termes de ce bilan. La validité des résultats pourrait être vérifiée grâce à des mesures de terrain, par exemple en ce qui concerne les estimations de concentration en nitrates dans l'eau de drainage.

Il convient également de noter que notre travail ne comporte pas d'analyse économique ni d'étude de marché sur la possibilité de commercialiser les légumineuses proposées. Pour pallier ce manque, il serait bon d'estimer les coûts de mise en place de nos scénarios à l'échelle des exploitations en termes d'investissements et de charges, et leur impact sur les filières.

## CONCLUSION

La diversification des rotations sur le plateau de Valensole peut passer par l'introduction de divers types de légumineuses, à savoir les légumineuses à graines pour l'alimentation humaine, les légumineuses fourragères, les légumineuses d'inter-culture, les légumineuses en inter-rang du lavandin, et les protéagineux. Avec la volonté de proposer des alternatives réalistes agronomiquement et cohérentes en termes d'assolement, nous avons tenu compte du temps de retour des légumineuses et nous avons choisi de ne pas diminuer les surfaces en lavandin. Ce parti pris permet d'une part de sécuriser la principale source de revenu des exploitations agricoles concernées, et d'autre part de conserver l'identité du plateau, en maintenant sa principale filière de production et sa valeur paysagère. Nos propositions sont toutefois en rupture avec la situation actuelle : dans tous nos scénarios, le colza est supprimé, et nous diminuons de plus de 50% les surfaces en blé dur au profit des légumineuses. Sur cette base, nous pouvons conclure que les légumineuses ont un potentiel de développement de 2000 ha dans les exploitations agricoles de type céréales-lavandin. Cette estimation va permettre aux acteurs du projet Regain de réfléchir le changement d'orientation agricole en s'appuyant sur une base commune et réaliste.

En plus de leur réalisme, les scénarios modélisés ont su montrer leur efficacité pour répondre aux défis de développement d'une agriculture durable promue par le projet Regain. D'après nos estimations, les légumineuses permettraient de diminuer le taux de nitrates dans les eaux de drainage de 60%, et les besoins en fertilisation minérale d'environ 30%, soit une économie d'énergie équivalente à plus de 2,6 Millions de tonnes d'équivalent CO<sub>2</sub>. Les légumineuses sont donc, selon nos hypothèses, un levier de la transition agro-écologique qu'il est important de développer, non pas simplement au niveau de la parcelle ou de l'exploitation agricole, mais bien à l'échelle du territoire du plateau de Valensole.

# BIBLIOGRAPHIE

Bertrand N., Guinet M., Roux S., & Wery J. (2017). User manual for BISWAT (Bispecific Intercropped System – Water stress dynamics model), 1–27.

COMIFER, 2013. Teneurs en azote des organes végétaux récoltés pour les cultures de plein champ, les principaux fourrages et la vigne, 2013, 1–4.

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.

Étudiants de l'option « Production Végétale Durable » de Montpellier SupAgro, 2013. Etude diagnostique des systèmes agricoles du plateau de Valensole. Projet collectif, Montpellier Supagro. 84p.

Étudiants de l'option « Production Végétale Durable » de Montpellier SupAgro, 2014. Étude sur l'efficacité des Intrants et leur rôle dans la durabilité des Systèmes Agricoles face aux changements globaux. Projet collectif, Montpellier Supagro. 100p.

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)

Tardivo C., 2016. La modélisation collaborative pour stimuler l'émergence d'un système agricole plus durable. Conception et mise en œuvre d'une démarche sur le plateau de Valensole. AgroParisTech. 305p

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

# ANNEXE 1 : Comptes-rendus d'entretiens

## **Christian Charbonnier - Directeur adjoint de la Chambre d'agriculture des Alpes de Haute Provence (Service technique Agriculture & Territoire)**

*Entretien effectué par téléphone le 08/02/2018.*

Tel : 04 92 30 57 71

### **- Quelles attentes avez-vous par rapport à notre projet étudiant dans REGAIN?**

Notre travail devrait permettre de donner des éléments de suivi de l'utilisation des intrants sur le plateau de Valensole à l'échelle macro et micro.

Mise en garde sur les conclusions agronomiques que l'on fera et qui ne seraient pas intéressantes du point de vue économique pour les agriculteurs. Il ne faut pas uniquement avoir une vision technique de ces aspects eau et azote car dans la pratique la question économique est très importante.

### **- Quel est l'avenir de l'élevage sur le plateau selon vous?**

L'avenir est dans la polyculture élevage mais compte-tenu du prix et de la rentabilité du lavandin actuellement, peu d'exploitants augmentent leurs parts d'élevage. En bovin les troupeaux sont de petits effectifs car ce sont des réflexions liées aux aides ICHN et à la valorisation des bois, et non pas à la mise en place de rotations ou l'insertion de légumineuses. L'élevage sur le plateau n'est pas stratégique, il est opportuniste!

### **- Quel est l'avenir du blé dur sur le plateau selon vous?**

La filière blé dur n'est pas dans les meilleures dispositions car son prix est au plus bas, l'économie des productions végétales sur le plateau est tenue par le lavandin, donc difficile de faire des rotation dans ce contexte...

### **- Quid du lavandin et du dépérissement?**

Avant, les parcelles de lavandin vivaient 12-13 ans et aujourd'hui au bout de 4-5-6 ans on arrive à des dépérissements. Des exploitants acceptent ça et replantent. Aujourd'hui quasiment toutes les EA ont du lavandin, est-ce durable? Quelle est la capacité du marché à absorber de telles productions? Sachant de plus que du lavandin commence à se planter un peu partout en France...

D'après lui, le lavandin sur le plateau est un non sens agronomique et les gens continuent d'en planter... C'est donc la vocation de la démarche REGAIN : avoir des éléments chiffrés et précis sur le risque encouru si on ne change pas les pratiques.

### **- Quelles sont les opportunités de dvlpt des légumineuses sur le plateau?**

Avant la fermeture du moulin il y avait un marché qui permettait de valoriser le pois chiche. Le jour où le moulin a fermé... plus rien. Il n'y a jamais eu d'industrie de pâtes ou de semoules. Jusque là les débouchés pour les légumineuses sont en alimentation animale. Tout pousse ou peu pousser sur le plateau mais il faut un marché, c'est ce qu'on doit construire aujourd'hui et pour cela il faut un effet de masse. Les opérateurs économiques qui développent des recettes avec pois chiche et lentille sont dans la vallée du Rhône → Concurrence au niveau géographique.

Les autres grosses contraintes à lever sont l'accès à l'irrigation (pour permettre la diversification des légumineuses cultivables) et le problème des sangliers.

Il met en doute la capacité du PV à être une bonne zone semencière.

### **-Quelles sont les légumineuses actuellement cultivées ?**

Globalement peu d'informations disponibles. Il y a un peu de pois protéagineux, pois chiche, sainfoin et ers.

#### **- les engrais verts et inter-cultures ont-ils un potentiel de développement?**

Oui, c'est une des pistes qui permettrait de limiter les mouvements de la cicadelle : travail sur les couverts intermédiaires entre-rang de plantes à parfum.

#### **-le plateau est en zone vulnérable nitrate, quelle est l'implication des agriculteurs par rapport à ça?**

Les inter-cultures CIPAN sont obligatoires même si on sait que sans irrigation ça ne marche pas. C'est pour le moment inconcevable de mettre de l'eau là-dessus (verrou psychologique important).

#### Concernant le bilan hydrique :

- **Pour le modèle de bilan hydrique, nous devons connaître la profondeur de sol prospectable par les racines, on a lu des choses sur des concrétions calcaires gênant la prospection racinaire, est-ce que ça concerne ou bonne partie du plateau ou est-ce négligeable dans nos modèles?**

Il y a un encroûtement autour de 20-30 cm qui peut empêcher la prospection racinaire, c'est pas récurrent.

#### **- Quels sont les impacts actuels de l'irrigation? impacts attendus ?**

Il ne voit pas des différences fondamentales entre les assolements irrigués et non irrigués sur le plateau. L'irrigation du lavandin permet de maintenir des plantations plus longtemps car elle évite le

stress après la récolte alors que les plantes sont fragiles. Les plantes ont plus de défenses contre le phytoplasme de Stolbur, bactérie à l'origine du dépérissement. Un pied qui n'a pas souffert de stress hydrique sera mieux armé face à l'agression des bactéries et aura donc moins de probabilité d'être atteint de la maladie.

Objectif de l'irrigation : augmenter des rendements sur certaines cultures de printemps et permettre des cultures de diversification (pourquoi pas le maraîchage - à la marge - n'y croit pas trop non plus pour l'arboriculture?). Le maïs ne se maintiendra pas car trop de demande en eau.

## **Eugénie Blanc-Coutagne et Paola Pommier – Société du Canal de Provence (service irrigation et agriculture)**

*Entretien effectué à Aix-en-Provence le 15/02/2018*

Tél. : 04 42 66 60 46

Email : [eugenie.coutagne@canal-de-provence.com](mailto:eugenie.coutagne@canal-de-provence.com)

*Mme Blanc-Coutagne nous a fourni des shp des zones approximatives d'extension d'irrigation.*

La SCP a une bonne vision de la gestion de l'eau jusqu'à la borne mais rien sur son utilisation (pas de contrôle sauf selon bonne volonté de l'agriculteur)

### Les surfaces de plateau irriguées :

Obtenus grâce au recensement agricole organisé par le MAF tous les 10 ans (= RGA; dernier en 2010;) Ce recensement pose un problème de significativité car il dépend fortement du climat de l'année (si 2010 année pluvieuse -> surface irriguée sous-estimée).

3 000 ha équipés (début années 2000, enquête auprès des agriculteurs pour savoir combien d'hectares ils vont irriguer et où placer les bornes => somme = 3000 ha) mais pas d'idée de l'évolution (friche, urbanisation...)

### Les systèmes d'irrigations présents sur le plateau :

Enrouleur principalement, parfois goutte-à-goutte sur lavandin. Principalement irrigation du lavandin et blé dur (+ arboriculture, truffières et prairies)

Aujourd'hui pas de différences « apparentes » en terme de rendement entre culture irriguée et non-irriguée : seulement utilisée comme eau de secours si année trop sèche. Ceci s'explique par le fait que les agriculteurs du plateau ne sont pas "des céréaliers dans l'âme" et pilotent l'irrigation en fonction du nombre de jour sans pluie (sauf S.Vernet qui est connu comme une référence pour l'irrigation). Ce mode de gestion de l'irrigation, indifférent du stade phénologique auquel est apportée l'eau ne permet pas d'augmenter les rendements du blé.

Concernant le lavandin, l'irrigation a un impact positif sur le rendement mais il reste relativement limité par rapport au prix d'installation des enrouleurs. Cependant, l'irrigation pourrait être un levier pour enherber l'inter-rang de lavandin et ainsi augmenter la biodiversité dans les parcelles (à condition que l'exploitant ait une bonne maîtrise de l'irrigation). De plus l'irrigation diminue la sensibilité au phytoplasme (=recul du dépérissement).

La SCP connaît le nombre de clients qu'ils ont sur la zone, mais les clients ne sont pas forcément des agriculteurs. Ils ont actuellement 60 clients d'eau agricole mais cela comprend des retraités, plusieurs personnes pour une même exploitation...



La SCP pense à mettre en place des formations pour les agri pour leur apprendre à mieux piloter leur irrigation. Mais ce n'est pas encore fait.

#### Le projet d'extension du réseau par la SCP :

Besoin en eau potable à Valensole l'été (touristes) mais besoins irrigation : Puimoisson.

1<sup>ère</sup> étape : renforcer le réseau existant (tuyaux + gros)

2<sup>e</sup> étape : aller vers Valensole (plat : pas trop technique)

3<sup>e</sup> étape : aller vers St Jurs (compliqué : doit mettre l'eau sous pression pour la monter en altitude) (plutôt échéance 8-10 ans voir plus)

De manière générale, il faut au moins 5 ans pour commencer les travaux une fois que la demande est officiellement faite. De plus pour le plateau de Valensole c'est plus compliqué : patrimoine, technique (ouvrage à conduire, financement à trouver), PNR et Natura 2000 avec foncier à acheter + droit de passage à demander...

Valensole : Question de limiter l'utilisation de l'eau par les agriculteurs (réflexion collective avec coop notamment et accompagner une utilisation optimale)

Le financement des aménagements se fait à 1/3 par la région, 1/3 par le département et 1/3 en autofinancement (avec rémunération sur le prix de vente de l'eau).

nb: la SCP est une société mixte. Pas de rémunération des actionnaires. Bénéfices réinvestis dans la région (projets) mais pas de rémunération directe de la région ou départements. Pas de génération de profits.

#### Climatologie

Ce n'est pas correct de travailler que sur une année climatique "moyenne" car ça n'existe quasiment pas sur le plateau. Il est préférable de travailler avec des années sèches et moyennes. Sur le plateau il y a statistiquement des cycles de 5 ans qui comprennent: 1 an humide , 3 années normales ; 1 année sèche (pas forcément dans cet ordre).

Nb : /!\ Une année peut être caractérisée comme très sèche mais si 2 orages tombent bien placés il n'y aura pas besoin d'irrigation (et inversement).

Problème du changement climatique : années traditionnellement sèches deviennent presque médianes...

## **GAEC Des Fabres**

*Campagne des Fabres, 04500 Montagnac-Montpezat*

Situation de l'exploitation : 260 ha, principalement en lavandin et blé dure + diversification importante notamment via d'autres PPAM, des légumineuses à graines et un peu de verger. EA située en zone irriguée et non déperissante. Sol argilo calcaire peu profond (25-30 cm)

## **Serge Vernet - Agriculteur et président de la coopérative GPS**

*Entretien fait le 14/02/2018.*

L'exploitation se trouve en zone non déperissante, rotation 10 – 12 ans, avec 5 ans entre chaque lavandin. L'exploitation est très peu représentative des exploitations du plateau car elle est très diversifiée alors que les autres exploitations ont des rotations plus simples.

### **Culture intermédiaire/de couverture :**

Le mélange moutarde-féverole-vesce-radis semé après la récolte de blé permet de remonter de taux de MO et de répondre à la directive nitrate. Il permet aussi de limiter l'érosion hydrique et éolienne de la terre. Cette année il a même fait un semis direct de pois chiche dans ce couvert.

### **Elevage :**

Sur le plateau il y a relativement peu d'élevage et les exploitants qui en ont cultivent généralement du sainfoin.

Pour les EA qui n'ont pas d'élevage il existe des contrats pour la production de sainfoin : les éleveurs s'engagent à le pâturer et l'agriculteur à le garder pendant 3 ans. Ce contrat permet également la souscription à une MAE mais elle est limitée en terme de surface (10-12 ha).

### **Quel est l'intérêt de mettre des légumineuses?**

- Diminuer l'utilisation de produits phytosanitaires
- Diminuer l'apport de N

- Apport de MO
- Trouver de nouveaux débouchés pour les coopératives (face à la chute de production du blé dur, les coop s'intéressent aux marchés de niches comme les légumineuses alimentaires; expl: la lentille est à la mode)

La contrainte principale en agriculture est l'utilisation des produits phyto car il y en a de moins en moins d'autorisés → Les légumineuses peuvent peut-être apporter des solutions. Mais les légumineuses sont tout de même très sensibles aux maladies (très compliquées en bio) et sur 100 ha on ne peut pas mettre plus de 25 ha de ces cultures environ.

Pourquoi met-on de plus en plus de lavandin même dans la zone déperissante?

Car c'est plus intéressant économiquement, par rapport au blé dur.

### **Denis Vernet - Agriculteur**

*Entretien fait le 15/02/2018*

*Nous sommes allés voir Denis (ancien PVD) lors de notre projet principalement pour valider nos zonage et typologies d'exploitation, pour évaluer la faisabilité des rotations que nous proposons et pour quelques questions annexes concernant le sainfoin et la directive nitrate.*

#### **Extension de l'irrigation :**

Apparemment tensions avec la zone de Valensole, qui était contre l'irrigation au début du projet (parce qu'ils avaient de l'eau par des sources et que comme ça ils avaient le monopole de la distillation). Et maintenant que c'est de plus en plus sec et qu'ils voudraient bien l'irrigation, la SCP n'a plus les mêmes moyens que quand ils ont fait la zone Sud. D'après Denis, il est très peu probable que des exploiteurs entières aient accès à l'irrigation dans la zone d'extension, ce serait plus limité à 20 – 30 ha.

#### **Validation de notre typologie en fonction des zones du plateau:**

Pour donner des ordres de grandeur de SAU, on peut dire que les exploitations font autour de 150 ha en moyenne en zone déperissante (zone D), environ 200 ha de moyenne en zone irriguée (zone A) , et environ 250 ha du côté de Valensole (zone C).

Il valide nos hypothèses sur le nombre d'UTH [à savoir: 2-3 UTH par exploit en zone A et 1 dans les autres zones], ça lui paraît cohérent avec le fait que les exploiteurs irriguées soient plus diversifiées.

## Validation de nos rotations initiales :

OK

Pas de prairies temporaires chez les céréaliers (ou alors à la marge, par exemple eux ont semé 4 ha de vesce pour les SIE). Ceux qui ont des PT sont plutôt en polyculture élevage.

Dans la pratique, les agriculteurs ne diminuent pas la dose d'azote derrière une légumineuse. Le précédent sert à améliorer le rendement et éventuellement la qualité de la récolte (expl blé en sec : 28 q/ha sur précédent blé, 35q/ha sur précédent légumineuse). Normalement, pas de fertilisation l'année de plantation du lavandin.

## Pistes d'établissement de scénarios :

Quatre possibilités principales pour l'introduction de légumineuses :

- **Culture de rente** : pour toutes les zones; permet une diversification de la production avec une culture mieux valorisable que le blé dur.
- **Inter-rang des lavandins** : pas très intéressant pour les très grandes exploitations car la longueur des plantations de lavandin provoque un frein technique à l'installation de cultures en inter-rang ; très intéressant pour les zones fortement dépeuplées car une plante haute de type féverole pourrait permettre de faire une barrière physique à la cicadelle (+ couverture du sol en IR permet de modifier la température du sol légèrement ce qui perturbe le cycle des ravageurs), intéressant aussi pour la zone A
- **Couvert d'inter-culture à l'automne** pour toutes les zones, sauf peut-être dans la zone C car peu d'UTH dans cette zone et l'absence d'irrigation risque de faire échouer l'implantation de l'inter-culture.
- **Culture fourragère** : surtout en zone avec grandes exploitations et peu de main d'œuvre car le fourrage peut se valoriser sur pied en contrat avec un éleveur ; aussi en zone dépeuplée, en remplacement de Blé dans la rotation entre deux lavandins.

## Cultures de rente

Pois chiche : Eux font du pois chiche (22 ha), c'est intéressant économiquement (rdt environ 15 q/ha en sec, valorisation autour de 500 euros/T). Demande peu de travail : « on le sème, on ne s'en occupe pas, on revient juste au moment de récolter ». Ils font quasi tout en sec depuis qu'ils ont commencé il y a 4 ans. Ils ont juste testé quelques ha irrigués l'an dernier et ça n'a pas marché car ça a provoqué des maladies fongiques.

La coop cherche aussi à se diversifier avec la chute du blé dur, donc les débouchés et la collecte ne sont pas un problème.

Eux font leurs semences fermières, pas de problème d'antracnose.

Problèmes de dégâts de sangliers : mettent des clôtures mais ce n'est pas suffisant. L'an dernier ils ont perdu 80% des pois chiche.

Lentille : Le frein avec la lentille c'est qu'elle a tendance à se coucher et avec les cailloux sur les parcelles c'est difficile à récolter sans abîmer sa moissonneuse. Plusieurs idées face à ça : la mettre en association avec un triticales qui lui serve de tuteur, ou la semer derrière un blé moissonné haut (avec les chaumes comme tuteur) ; ou en semis direct (moins de cailloux en surface).

Féverole : Bonne valorisation pour l'alimentation animale, intéressante économiquement même si les graines coûtent très cher. L'an dernier les sangliers ne l'ont pas touchée mais ils avaient fait pareil la première année avec le pois chiche, c'est juste qu'ils ne savaient pas encore que ça se mangeait.

Pois protéagineux : marche bien sauf sangliers.

### **Production de semences de légumineuses de couverture :**

Ce n'est pas facile de se procurer des semences de légumineuses pour faire des couverts et les coopératives cherchent des fournisseurs. La production de semences peut être un débouché intéressant économiquement (mais ça reste une niche). Ex : Luzerne semence, sainfoin, vesce, ers...

### **Inter-rang de lavandins**

Les lavandiculteurs associent la couverture de l'inter-rang avec moins de dépérissement. Ceci peut être un levier à actionner pour faire accepter les légumineuses dans la zone fortement dépérit. Cependant en zone non irrigable il y a une peur de la concurrence hydrique. Pour l'instant les conseillers techniques préconisent du triticales sur 1/3 du rang l'année de plantation (ou les 2 premières années). Le triticales est en général détruit chimiquement en mai. Peut réduire de 50% la perte de rendement liée au dépérissement, si on enlève l'effet concurrence ça fait un gain de 15% de rendement en zone fortement dépérit.

Autres possibilités :

- Semer une légumineuse en fin d'été, la laisser en place l'hiver, et en février semer à la place un triticales pour combiner les effets apport d'N, la limitation de l'érosion et l'effet barrière contre la cicadelle.
- Légumineuse pérenne (ou qui se resème toute seule) : ça pourrait être intéressant agronomiquement pour les EA qui ont de l'irrigation.

Penser aux machines, lui a rajouté une trémie sur une bineuse pour pouvoir semer sont inter-rang direct derrière le binage : du coup ça ne demande pas de passage d'engin supplémentaire, ça peut être un argument.

## Couvert d'inter-culture à l'automne

La CIPAN idéale pourrait être une association moutarde-légumineuse. La moutarde pousse vite, fait de la biomasse et elle est efficace pour capter les nitrates. La légumineuse se trouve donc obligée de fixer du N atm. La difficulté se trouve dans la gestion du mélange car la moutarde a des effets allélopathiques.

-Quelles légumineuses en mélange ?

La vesce pousse bien mais c'est difficile à détruire; la féverole pourrait être mieux; le mieux serait une légumineuse résistante à la chaleur et facilement destructible par le gel (type lablab purpureus ).

Ceux qui ont l'irrigation sont susceptibles de se rendre compte que quitte à être obligés de semer des CIPAN à l'automne [directive nitrate], autant qu'elles servent à quelque chose donc qu'elles fassent de la biomasse. du coup, il n'est pas impossible qu'ils leur mettent un petit peu d'irrigation au démarrage. Profiter de la directive nitrate pour commencer à faire accepter les légumineuses par les agriculteurs.

Denis est même prêt à les semer avec un engrais starter (<10 unités). En revanche, ceux du côté de Valensole qui n'ont pas encore l'irrigation, c'est même pas la peine de leur en parler (surtout s'ils n'ont qu'une petite surface irriguée par exploit).

## Cultures fourragères

Le sainfoin peut être une bonne alternative au blé entre deux lavandins car le blé ne rapporte pas. Le sainfoin est avantageux car c'est l'éleveur qui viens faire pâturer ou qui fane la parcelle (et il paie un droit d'usage, 150 euros par ha pour l'exemple du cousin de Denis).

En revanche la luzerne pousse mal en sec.

## Comment présenter l'introduction des légumineuses auprès des agriculteurs ?

Pour l'acceptation des légumineuses (idem pour les CIPAN), l'**angle réglementaire** peut-être un bon point d'entrée pour amener les agriculteurs à tester autre chose et à constater les intérêts agronomiques. Personne ne se presse trop pour appliquer la réglementation nitrates car on ne sait pas trop quand les contrôles démarreront.

Les agriculteurs ne seront probablement pas très sensibles au côté **économique** (bonne valorisation des légumineuses alimentaires), car de toute façon rien ne rapporte autant que le lavandin même dépérissant. Il vaut mieux argumenter par l'**angle agronomique** ou réglementaire. L'économie en

azote n'est pas forcément l'argument majeur, plutôt bien insister sur l'effet d'**étouffement des adventices** si le couvert joue bien son rôle.

Le blé rapporte tellement peu qu'ils seraient sans doute prêts à le diminuer au profit d'une autre culture de rente type pois chiche, surtout si elle leur économise de la fertilisation et du temps de travail.

#### **Autres infos :**

Huile essentielle de lavande : environ 22 euros le kg (rdt environ 200kg/ha) VS immortelle : 1600 euros le kg (rdt environ 10 kg/an) (mais l'immortelle c'est du boulot car aucune molécule n'est homologuée)

**Nora Dermech - Chambre d'agriculture des Alpes de Haute Provence  
(Conseillère d'entreprise Mes P@rcelles) - Animatrice du projet REGAIN**

*Entretien effectué à Oraison le 13/02/2018.*

Tel : 04 92 30 57 74

#### **Validation de l'assolement pour le plateau de Valensole :**

Il y a eu quelques évolutions dans le paysage agricole du plateau depuis 2013 :

- Baisse des surfaces en blé dur suite à la diminution des aides, des prix et aux périodes de sécheresse de plus en plus fréquentes.
- Augmentation des surfaces en lavandin en compensation (mais ne sait pas de combien d'hectares)
- Les surfaces en sauge ne sont pas stables. La sauge se plante seulement pour 3 ans donc évolution plus rapide que les surfaces en lavande. Beaucoup d'exploitations en ont un peu mais ça ne représente pas grand-chose en surface -> on peut simplifier en disant que 100% de la surface en PPAM est du lavandin.
- Le colza : il n'y en a pas eu depuis deux ans car le début d'automne est beaucoup trop sec pour réussir à le semer. Rdts moyens : 18 q/ha en sec, 35 q/ha en irrigué.

#### **Informations relatives au passage du plateau en Zone Vulnérable Nitrate :**

Passage en zone vulnérable en 2017-> obligation de semer une CIPAN à l'automne. Le sol doit être couvert entre le 23 septembre et le 1<sup>e</sup> décembre. La CA conseille de laisser en place le plus longtemps possible mais il y a des blocages psychologiques (idée qu'il y a besoin du gel pour casser le labour). Sauf que quand c'est sec en automne comme les 2 dernières années, les couverts ne poussent pas. La

réaction des agriculteurs a plutôt été d'augmenter la part des cultures d'hiver que d'installer des CIPAN.

### **Recommandations pour la fertilisation N :**

- Lavandin : 60 U
- Blé dur : 3 unités/q de rendement espéré + 80 U. Le problème pour estimer à l'échelle du plateau c'est que les rendements espérés varient beaucoup (dépendance aux précipitations). Les rendements moyens sont de 35 q/ha en sec et peuvent aller jusqu'à 75 q/ha pour les rares qui irriguent.

Pas d'idée de rendement en paille ni d'indice de récolte.

### **Irrigation**

La zone irrigable fait environ 3000 ha, au Sud du plateau.

Lavandin : Aucune idée des quantités d'eau apportées, aller voir le mémoire de Steve Aubry avec la SCP sur le sujet. Le lavandin est traditionnellement conduit en sec, mais certains parlent de gains de 30 à 40% en rendement grâce à l'irrigation (Eric Chaise ?).

Quasi personne n'irrigue le blé car c'est coûteux (prix de l'eau et temps de travail) et que c'est beaucoup mieux valorisé économiquement sur le lavandin.

### **Pailles exportées ou laissées sur place ?**

#### **Elevage :**

N'apparaît pas dans la typologie de Caroline Tardivo car il y en a assez peu sur le plateau. De plus, on peut se dire que ce n'est pas chez les éleveurs qu'il y a la plus grande marge d'introduction de légumineuses car ils en ont déjà en mélange dans leurs prairies. Actuellement l'élevage est plutôt en perte de vitesse car ça demande plus de travail et ça rapporte moins que le lavandin. Les élevages sont en grande majorité ovins, bien répartis sur le plateau (même s'il n'y en a pas trop entre Brunet et Valensole).

Exploitation avec lavandin se portent bien financièrement et ont moins de contraintes que l'élevage => peu probable que l'élevage revienne



### Dates de semis et de récolte :

- Blé dur : semis 15-20 octobre, récolte fin juin-début juillet. Floraison en avril.
- Lavandin : se plante entre début décembre et mi-février, récolte en juillet. Floraison en mai.
- Pois chiche : semis février, récolte juillet. Pas de PC d'hiver (demander à Jacques Wery pourquoi)

### Climat :

On ne peut pas parler d'année météo « moyenne » à Valensole, ça n'arrive pas vraiment. On travaille plutôt en prenant des années médianes. La CA n'a pas de données météo. En revanche la SCP doit en avoir, qu'elle achète au CIRAME (Centre d'info régional agro-météorologique et économique) .

### Légumineuses :

#### Porter notre choix sur des cultures de rentes = légumineuses à graines

Débouchés: GPS, Prodia (si les surfaces en légumineuses augmentent fortement, la filière devra s'adapter)

- Sainfoin : Pas d'informations sur la proportion que ça représente dans les prairies temporaires mais ce n'est pas anecdotique. Quasi tous les éleveurs en ont plus certains céréaliers qui l'implantent comme précédent, comme SIE, ou s'ils ont un accord avec un voisin éleveur (anecdotique). Pas de chiffres sur le nombre d'exploitations ou les surfaces concernées. Très peu de céréaliers en font pour vendre en foin (<5, anciens éleveurs avec encore du matériel pour le fourrage). Le sainfoin se développe bien sans eau, il n'est quasi jamais conduit en irrigué sauf chez quelques éleveurs. Rdt de 2 à 2,5 T MS/ha (fourchette basse, variable en fonction de la pluie).
- Luzerne : cultivée chez les éleveurs, très rare chez les céréaliers.
- Soja : non car pas très compétitif sur le plateau
- Lentille : ne se fait quasiment pas à part comme CIPAN et sur les tournières des parcelles de lavandin. On peut faire ses propres semences facilement donc pas cher pour mettre comme couvert. Quels verrous au développement comme culture de rente ? raisons à préciser
- Pois chiche : a un plus fort potentiel de développement auprès des agriculteurs car c'est une culture de rente. A priori il n'y a pas trop de freins du côté de la commercialisation, même s'il faudrait réfléchir à de nvx marchés si les surfaces augmentent fortement.

Frein majeur : *les sangliers!* (c'est le cas pour toutes les légumineuses à graines).

- Féverole : très productive : peut faire une grosse biomasse et atteindre 70cm de haut MAIS elle est très appétante pour les sangliers. Semis en automne. La graine se valorise très bien (semence)

- Fève : n'a jamais été cultivée sur le plateau sans qu'il y ait de raison apparente (mais probablement très recherchée des sangliers aussi).
- Trèfle : non car les semences sont chères et très petites, il faut donc absolument qu'il pleuve juste après le semis sinon elles meurent (on ne peut pas compter là-dessus sur le plateau).
- Ers : Espèce très locale donc très rustique et adaptée. Valorisée comme fourrage ou engrais vert (CIPAN). Rendements sans doute moins élevés que la luzerne ou le sainfoin. Pas d'informations précises sur cette culture car ses surfaces sont assez anecdotiques, mais peut être intéressante.
- Vesce commune d'hiver : marche bien (voire un peu trop au moment de la détruire), surtout présente chez les éleveurs ou comme couvert ou EV.
- Gesse : anecdotique et seulement en couvert. Valeur fourragère ?
- Pois protéagineux d'hiver : Roulette russe à cause des sangliers et des besoins en eau au printemps. Mais existe sur le plateau, donc pas forcément inintéressante pour nos scénarios car les agriculteurs maîtrisent déjà cette culture.

### **Introduction de légumineuses dans l'inter-rang du lavandin ?**

L'objectif principal de l'enherbement de l'IR est de limiter la propagation des cicadelles. Les CA conseillent d'installer du triticale (suffisamment haut, facile à détruire chimiquement, pas cher, s'installe facilement même en cas de manque de pluie) sur 1/3 du rang pour éviter le stress hydrique. La couverture de l'IR est une pratique très récente sur lavandin (1<sup>ère</sup> expérimentations menées il y a 6 ans seulement). Cette année, 100 ha devraient être plantés avec triticale. L'accent est mis sur l'année de plantation car c'est là que les cicadelles sont les plus problématiques.

Les mélanges légumineuses / graminées (genre triticale/ers) pourraient être intéressants pour nos scénarios, même si ça ne se fera sans doute pas à court terme (manque de référence + blocage psychologique). La féverole pourrait remplir le rôle d'écran contre la cicadelle (même si le manque d'eau et la présence de sanglier complique beaucoup cette hypothèse).

Les légumineuses pérennes (genre trèfle, assez bas) pourraient être assez intéressantes. En plus certaines expérimentations ont montré que le trèfle en IR pouvait diminuer le dépérissement (on ne sait pas trop pourquoi). A gérer en broyant ou roulant en début d'été.

Ressemis spontané : risque de coloniser tout l'inter-rang.

### **Quels critères de zonage seraient pertinents?**

- Irrigation : peut influencer les scénarios (demander à la SCP ce qu'ils en pensent)
- RU : pas forcément pertinent car très variable au sein d'une même parcelle (texture, profondeur et taux de cailloux très variables).

- Dépérissement : influence la durée des rotations lavandin et donc la motivation à enherber l'inter-rang.
- Taille des exploitations : pas forcément un facteur déterminant sur le fait de se lancer ou non dans des légumineuses (ou en tous cas pas autant que la personnalité de l'agriculteur, sa capacité à prendre des risques et sa volonté d'être pionnier). Après si les grosses exploitations s'y mettent, ça va aller plus vite en termes de progression des surfaces.

En gros on peut partir sur trois zones : la zone irrigable, la zone dépérit (st Jurs- Puimoisson), et le reste. Ce n'est pas forcément faisable ni intéressant de chercher à être plus fin pour faire nos bilans N et eau.

**Exemple de rotations** diversifiées qu'elle a rencontré :

- 3 ans Sainfoin - B - B - B - Pois ou colza ou pois chiche - B - B
- B - Colza ou PC - B - Pois - B - Tournesol - B

(pas représentatif de tout le plateau mais ce sont des rotations cohérentes qui peuvent nous donner des idées).

Zone de dépérissement => rotations courtes

Zone non dépérissante => rotations longues

**Données MesP@rcelles :**

- Pour des extractions demander à Christian Charbonnier
- Il s'agit d'un outil d'enregistrement des pratiques pour les agriculteurs, créé par l'APCA (il existe des équivalents privés).
- Fiabilité ? Les agriculteurs remplissent ce qu'ils veulent. N et irrigation sont peu renseignés jusqu'ici mais ça va changer avec la zone sensible nitrates.
- Parmi les 200 exploitants considérés comme professionnels du plateau, environ 20 sont abonnés. Assez représentatif du plateau mais pas spatialisé.

**Autres infos :**

Coopératives et négoce :

SCAPPP : collecte environ 80% du lavandin du plateau

Pour les grandes cultures, les 3 principaux collecteurs sont GPS (coop), Ets Garcin (privé), et Prodia (privé).

Tournesol : Existe sur le plateau car il y a un arrangement avec Veolia pour l'épandage des boues de station d'épuration, le W du sol et le semis ne sont pas à la charge de l'agriculteur. Existe aussi pour faire joli entre les rangs de lavandin (photogénique). Rdt : 10-14q/ha en sec, 25 en irrigué.

Il y a du lavandin en bio mais très peu car ce n'est pas très bien valorisé (23 à 25 €/kg contre 20,5 en conventionnel)

## Jean-Claude LACASSIN - Société du Canal de Provence (réfèrent sols)

Entretien effectué à Tholonet le 15/02/2018

Tél. 04 42 66 71 72

Liste de personnes ressources citées pendant l'entretien:

Céline Lefloch : donné de cartographie.

François Préveau : responsable de l'extension d'irrigation.

Stephane Gesequel : contact arvalis pour le conseil d'irrigation en blé dur.

L'irrigation va être de plus en plus réclamée sur le plateau à cause du changement climatique.

Arvalis pousse à irriguer le blé dur pour maintenir la semoulerie de Marseille.

### **Savez vous quels sont les effets de l'irrigation sur le dépérissement?**

Il y a des expérimentation du CRIEPAM en cours mais pour l'instant il n'y a pas vraiment eu de résultats probants sur le dépérissement. L'utilisation de plantes de couverture en inter-rang semble être un moyen de lutte plus efficace que l'irrigation. En revanche l'irrigation du lavandin permet d'améliorer significativement le rendement.

### **Avez vous des informations quant à la pollution au nitrates sur le plateau?**

En 2013 il y a eu un projet sur la qualité de l'eau du plateau mené par la SCP et la BRGM et financé par l'agence de l'eau pour tenter de répondre à la question : "L'infiltration explique-t-elle la diffusion des herbicides ?" (= projet COMET qui a donné lieu à la production de cartes d'infiltration de l'eau)

Ce projet a aussi permis la compréhension du fonctionnement des aquifères par les équipes de la SCP pour la proposition de préconisation.

Les préconisations de la SCP sont: augmenter les rotations, augmenter la Mo, couvrir le sol en automne.

## **Luc Courtil - Responsable du pôle développement - Parc Naturel Régional du Verdon.**

*Entretien fait le 14/02/2018 à Moustiers-Sainte-Marie*

Tèl : 04 92 74 68 00

### **Point de vue du Parc Verdon sur le projet Regain :**

Plutôt sur le domaine du patrimoine (avec le parc), maintenant plus agricole et sur l'alimentation.

Le projet Regain s'est d'abord avec une entrée forte sur le sol, et maintenant va vers une entrée économique. Ils espèrent que le développement des couverts va permettre de limiter l'érosion hydrique et éolienne. En revanche, ils craignent que l'arrivée de l'irrigation perturbe l'écosystème de la zone Natura 2000.

### **Identification des systèmes de culture:**

Luc est d'accord avec le travail fait dans la thèse de C. Tardivo. Il peut nous donner son avis si nous lui présentons une typologie faite mais il n'est pas expert du domaine, il aura donc du mal à nous aider à la construire.

### **Note sur l'élevage:**

Les éleveurs possèdent rarement du foncier, quelques hectares tout au plus. La plupart des éleveurs fonctionnent en fermage en général. Le sainfoin peut être produit via des accords entre agriculteurs et éleveurs mais il ne sait pas si cette pratique est courante. Certains agriculteurs produisent du fourrage, mais dans quelles proportions ? Pour qui ? Des contrats ?

Problèmes d'entente et de communication entre les éleveurs et les agriculteurs → Frein important pour passer des contrats de production de fourrage.

### **Données fournies par M. Courtil:**

Données sur l'élevage provenant du DLVA (80% du plateau couvert). Les données sont publiques, mais il faudra émettre des réserves quant à leur utilisation (données anonymisées, pas de nom, cité la source POPI DLVA CRPAM (centre d'étude et de réalisation pastorale méditerranéen)).

- Dossier
  - Cadastre numérisé, plateau trié : St Jurs, Puimoisson, Valensole ...
  - Données administratives (limites communales) : ensemble du parc
  - Carte des sols (2089)
  - POPI :
    - Cahier pour description des tables attributaires
    - Siège d'exploitation : intégralité des sièges d'exploitation du plateau
    - TP\_ = territoires pastoraux = ce qui est censé être pâturé : Les espaces intermédiaires sont essentiellement pâturés par caprin (et ovin) sur l'année. Les caprins ne bougent pas. Pour les ovins certains pratiquent la transhumance (pas de départ à pied). La carte représente les parcours et les prairies (?). Au nord les grandes plaines ne sont pas pâturées. Au milieu production de sainfoin. A l'ouest plutôt les territoires de parcours (plutôt boisé). Au nord-ouest, prairie (pas permanente). Dans fond de vallée, possibilité de prairie permanente.
  - Regain sol couche
    - Parcelles 2017 : qui ont eu des prélèvements

Les données météo à ouvrir avec le logiciel MAP (entre 61 et 91), par « région »

- Résultats – pour Luc Courtil : données du contexte, très bien agencés, xls, données très variées sur le parc (démographie, forêt...)
- Zonage et typologie : travail validé de la thèse de Tardivo

## ANNEXE 2 : Note explicative du modèle de bilan hydrique et du calcul de la lixiviation

Le modèle conçu repose sur un certain nombre d'hypothèses de travail, les voici:

- On considère que le lavandin est en développement entre l'année 0 et l'année 3. La croissance du lavandin est la même à partir de la 3ème année.
- Nous n'avons pas calculé de ruissellement à cause de la contrainte de temps, nous faisons l'hypothèse qu'il est négligeable
- Les dates utilisées sont exprimées en degrés jours, les calculs de ces dates sont faits à partir de dates en jour de semis, d'émergence, de floraison, de sénescence et de récolte (obtenues à dire d'expert)

Les données suivantes, spécifiques à chaque culture, ont été récupérées après discussion avec des experts :

- La température de base (Tb)
- Le coefficient d'efficience de transpiration (k)
- L'efficience d'utilisation du rayonnement (RUE)
- RIE min et RIE max représentant la surface minimum/maximum d'interception du rayonnement par les plantes, respectivement, après la récolte et après la floraison.

Les paramètres utilisés sont:

- Réserve utile (RU) = 60 mm en nous appuyant sur la carte de RU du plateau de Valensole (source : SCP)
- L'humidité à la capacité au champ (Hcc) = 0,28
- L'Humidité au point de flétrissement = 0,15
- Humidité du sol initiale: 20%
- L'irrigation est déclenchée si la FTSW passe en dessous d'un certain seuil qui est fixé pour chaque culture, indiqué dans le fichier `Bibliotheque_des_cultures`, dans la colonne "Seuil\_IR"
- S'il y a irrigation nous avons choisi un ou plusieurs apports selon les cultures, le volume d'eau apporté dépend des espèces.

Données culturales: fichier "crop"

L'ensemble des données sur les cultures se trouve dans le fichier "**Bibliotheque\_des\_cultures**". Il est importé sur R sous le nom "**crop**".



#### **a. Colonne culture**

Les cultures sont distinguées en fonction de l'irrigation (IR), de la présence en inter-rang (Int) et de l'année (pour les cultures pérennes).

#### **b. CodeC**

0 s'il s'agit d'une culture annuelle

1 s'il s'agit d'une pérenne

#### **c. Date\_semis et Date\_reprise**

Les valeurs de ces colonnes correspondent au numéro du jour de l'année (qui varie entre 1 et 365)

#### **d. Autres dates**

Les dates sont renseignées en degrés jours, calculées à partir d'une date en jour, de la température de base et de la température moyenne.

#### **e. Paramètre k**

Correspond au paramètre TEC, un coefficient d'efficacité de transpiration.

#### Données météorologiques: fichier "meteo"

Les données retenues sont comprises entre les années 1980 et 2005. Le fichier contient:

- Les quantités de précipitations, d'Evapotranspiration Potentielle (ETP) et Tmoy extraits du fichier excel BAValensol fourni par la SCP
- Les valeurs de rayonnement global (RG), Température minimale (Tmin) et Température maximale (Tmax) sont fournies par l'INRA, elles proviennent de la station météo de Gréoux
- Il manque des données de RG sur le relevé de la station de Gréoux, nous les avons complétés avec des données de la station Dauphin. Ceci permet d'avoir 3 années de données supplémentaires : 1988, 1994 et 1997.

Les années suivantes ont été retirées car il manquait des données : 1981, 1982, 1986, 1987, 1991, 1992, 1993, 1995.

Nous avons retiré le 29 février pour les années bissextiles afin d'avoir des années de 365 jours.

A partir du jeu de données de 18 années, nous avons réalisé un tirage aléatoire de 60 années parmi les 18, à l'aide de la fonction `sample` sous R. Le fichier météo utilisé dans le modèle est cette combinaison de 60 années.

### Codage R

Ecriture de la rotation sous forme d'un vecteur, la rotation ci-dessous a une durée de 15 ans.

```
A_ini <- c("lavandin1_IR", "lavandin2_IR", "lavandin+_IR", "lavandin+_IR", "lavandin+_IR",  
          "lavandin+_IR", "lavandin+_IR", "lavandin+_IR", "lavandin+_IR", "lavandin+_IR",  
          "bledur", "bledur", "colza", "bledur", "bledur")
```

### **Codage de la dynamique de RIE**

On commence par construire un vecteur de la rotation de l'inter-rang de la même longueur que le vecteur de la rotation de la culture. Lorsqu'il n'y a pas d'inter-rang, le vecteur est rempli par des "".

On initialise la RIE, la RIE de la culture (RIEc), la RIE de l'inter-rang (RIEint) à 0 pour construire les colonnes dans la table *output*. Les valeurs de la RIE minimum du précédent de la culture (RIEcmnprec) ou de l'inter-rang (RIEintminprec) sont initialement fixées à 0, puisqu'il n'y a pas encore de culture en place quand on commence la rotation.

On fabrique ensuite deux colonnes dans le fichier *output* : "culture" et "interrang" qui recevront le nom de la culture lorsque celle-ci est présente.

Pour l'ensemble des variables utilisées, elles sont en double, l'une pour la culture et l'autre pour l'inter-rang, à laquelle on ajoute `int` (exemple : **tt** et **ttint**)

Voici ensuite la liste des différents vecteurs/valeurs utilisées pour le calcul de la RIE :

- **compteur** qui est initialisé à 1. Il reçoit ensuite les valeurs de la ligne à laquelle la culture est récoltée. Cela permet de toujours avancer dans la table *output* quand on passe à la culture suivante
- **a** : permet de mettre la RIEcmnprec pour la dernière année de culture de lavandin, donc la RIE après l'arrachage à 0 et non à RIEcmn comme pour les autres années.
- **j** -> nombre de cycles que fera chaque culture de la rotation

- **i** -> nombre de cultures total dans la rotation
- **Tb / Tbint**: température de base de la culture, changée à chaque changement de culture
- **debut / debutint** : reçoit la valeur, le numéro du jour de l'année, de la date de semis.
- **I\_debut / I\_debutint** : ligne correspondant au semis de la culture. Elle est retrouvée avec la ligne de la valeur **debut** à laquelle, on ajoute la valeur du compteur.

Dans le cas des cultures pérennes, si on ne se trouve pas en première année de culture, la date de début de la culture pour les années 2 et plus, correspond à la date de fin de la précédente, c'est-à-dire que la culture commence dès la récolte de la précédente.

On n'utilise pas non plus l'émergence de la culture mais la date de reprise, qui est en numéro de jour de l'année. La somme du temps thermique commence alors à cette date.

- **fin / finint** : reçoit la valeur, en temps thermique, de la date de semis.
- **I\_fin / I\_finint** : ligne correspondant à la récolte de la culture

Pour le lablab, la date de fin est fixée fin novembre car c'est une culture tropicale qui est détruite par le gel.

Pour la dernière année de lavandin, la date d'arrachage (**date\_arrachage**), équivalente à la date de fin est fixée par défaut soit en août soit en janvier.

Pour la luzerne, en dernière année, on fixe également une date de fin, équivalente à quelques jours au semis de blé qui suit la luzerne (13 octobre)

La culture de vesce/avoine est également arrêté, arbitrairement à la fin de l'année, pour permettre la plantation de lavandin qui suit.

- **floraison / floraisonint** : reçoit la valeur, en temps thermique, de la date de floraison
- **senescence /senescenceint** : reçoit la valeur, en temps thermique, de la date de senescence
- **tt / ttint** : colonne de la table *output* où est calculé (et remis à 0 au début de chaque nouvelle culture) le temps thermique.
- **n\_culture** : allant de 1 au nombre de cultures différentes faites sur l'ensemble des années du fichier météo
- **n\_rep** : colonne de *output* recevant le **n\_culture** lorsque celle-ci est présente. Cette variable sera utile pour le calcul de l'irrigation
- **RIEcmmin, RIEcmmax / RIEintmin, RIEintmax** : RIE minimum et maximum de la culture
- **largeur / largeurint** : colonne de *output* recevant la largeur de la culture et de l'inter-rang. Si ce n'est pas la première année ou la deuxième année du lavandin, la valeur reste à 1 pour le rang et 0 pour l'inter-rang. Sinon, les valeurs ont été fixées après discussion à 0,6 et à 0,4 pour respectivement le rang et l'inter-rang.

Par rapport à la largeur de l'inter-rang et du rang et la valeur de la RIE du lavandin, nous avons fixé la RIEmin et max en fonction de cette largeur, ainsi la RIEmax du lavandin de la première année ne peut être comparée à celle du lavandin en 3ème année ou plus que si on pondère la valeur par les largeurs données ci-dessus.

Les calculs de la RIE :

On sépare la RIE en 4 phases pour son calcul :

- Entre le semis et l'émergence (ou la reprise de végétation)  
$$RIE[l\_debut:l\_emergence] = RIEminprec$$
- Entre l'émergence et la floraison  
$$RIE[tt>emergence \& tt \leq floraison] = tt * ((RIEmax - RIEminprec) / (floraison - emergence)) + RIEminprec$$
  
$$- (((RIEmax - RIEminprec) * emergence) / (floraison - emergence))$$
- Entre la floraison et la sénescence  
$$RIE[tt \geq floraison \& tt \leq senescence] = RIEmax$$
- Entre la sénescence et la récolte  
$$RIE[tt \geq senescence \& tt \leq fin] = tt * ((RIEmax - RIEmin) / (senescence - fin)) - (senescence * ((RIEmax - RIEmin) / (senescence - fin))) + RIEmax$$

Une fois la RIE calculée, on passe au calcul du bilan hydrique au pas de temps journalier.

#### Liste des formalismes pour le bilan hydrique :

On détermine la valeur de l'**humidité au point de flétrissement permanent** à partir de la valeur d'Hcc apportée par l'opérateur.

$$H_{pf} = H_{cc} - 0.13$$

La valeur de 0,13 est fixée arbitrairement, elle représente l'humidité entre le point de flétrissement permanent et la capacité au champ. Cette valeur est variable en fonction de la texture du sol.

Nous avons calculé la **profondeur de notre sol** à partir de la RU :

$$prof\_sol = RU / (H_{cc} - H_{pf})$$

Il faut initialiser le stock d'eau total au premier jour :

$$\text{stock\_init} = \text{prof\_sol} * h\_initiale$$

De même, il faut initialiser le stock d'eau transpirable par la plante :

$$\text{ATSW\_init} = \max(0, \text{stock\_init} - H_{pf} * \text{prof\_sol})$$

Formule de calcul du **déficit de pression de vapeur** (VPD) à partir de Tmax et Tmin journalier. Ce paramètre permet de prendre en compte la différence de pression en vapeur entre l'atmosphère et la plante et donc le potentiel de transpiration de la plante

$$\text{VPD} = 0.75 * (0.6108 * \exp(17.27 * T_{\max} / (T_{\max} + 237.3)) - 0.6108 * \exp(17.27 * T_{\min} / (T_{\min} + 237.3)))$$

Calcul de **TTSW** avec l'hypothèse d'une profondeur racinaire constante et maximale, représente l'eau transpirable maximale dans la zone d'enracinement :

$$\text{TTSW} = (H_{cc} - H_{pf}) * \text{prof\_sol}$$

Calcul de **Dyse**, une variable qui augmente en l'absence de précipitations. Dyse est utilisé dans le calcul de Ks (voir plus bas) :

$$\text{if (Pluie}[i] > 5) \{ \text{Dyse}[i] = 0 \} \text{ else } \{ \text{Dyse}[i] = \text{Dyse}[i] + 1 \}$$

Formalisme de la **biomasse** (DM) nécessaire pour le calcul de la transpiration (même calcul pour la biomasse de l'inter-rang **DMint** avec **RIEint**) :

$$\text{DM}[i] = \text{RUE} * 0.48 * \text{RG}[i] * \text{RIEc}[i]$$

Calcul de la **transpiration** :

$$\text{TR}[i] = (\text{VPD}[i] / k[i]) * \text{DM}[i]$$

Application de l'effet du stress à la transpiration

$$TR[i] = TR[i] * \min(1, FTSW[i-1]/0.4)$$

Calcul de **Ks** qui est un coefficient qui représente la **conductance de la surface du sol**, calculé à partir de Dyse

$$\begin{aligned} & \text{if (Dyse}[i] > 1 \mid FTSW[i-1] < 0.5) \{ \\ & Ks[i] = ((Dyse[i] + 1)^{0.5} - Dyse[i]^{0.5}) \\ & \quad \text{]else } \{Ks[i] = 1\} \end{aligned}$$

Calcul de l'**évaporation** du sol nu, ETP représente une évapotranspiration de référence :

$$EVA[i] = ETP[i] * (1 - RIE[i]) * Ks[i]$$

Calcul du **stock d'eau total**, qui varie entre 0 et 129mm. Ce stock est différent de la RU, il comprend toute l'eau contenue dans le sol, ce qui comprend aussi l'eau qui n'est pas disponible pour les plantes.

$$\text{stock}[i] = \max(0, \text{stock}[i-1] + \text{Pluie}[i] - TR[i] - TRint[i] - EVA[i] + IR[i])$$

Calcul du **drainage**, c'est la quantité d'eau du stock supérieur au stock maximal :

$$DR[i] = \max(0, \text{stock}[i] - Hcc * \text{prof\_sol})$$

Une fois le drainage calculé, on le retire du stock d'eau total avant de calculer l'ATSW.

Calcul de **ATSW** :

$$ATSW[i] = \max(0, \text{stock}[i] - Hpf * \text{prof\_sol})$$

Calcul **FTSW** : la proportion du remplissage de la réserve d'eau transpirable

$$FTSW = ATSW/TTSW$$

Pour le calcul de l'irrigation, le détail est expliqué dans le script (voir ci-dessous). Il y a deux modalités de pilotage de l'irrigation :

- Pour les cultures irriguées tout au long de l'année, le seuil de déclenchement de l'irrigation est fonction de la FTSW.
- Pour les plantes de couverture irriguées, on réalise un seul apport, après le semis, lorsqu'il a plu moins de 20 mm durant les 20 jours qui ont suivi le semis.

Pour les cultures dont le pilotage de l'irrigation se fait suivant la FTSW, on regarde si on n'a pas encore dépassé le nombre d'irrigation maximale

```
if (FTSW[i-1] < Seuil_IR[i] & crop[crop$Culture==culture[i],"Nombre_IR"]>nb_irr)
```

Quand les deux conditions précédentes sont remplies, on irrigue avec la dose préconisée pour la culture et on ajoute alors au compteur du nombre d'irrigation 1.

```
IR[i] = Dose_IR[i]
```

```
nb_irr=nb_irr+1
```

Si la culture suivante est différente de l'actuelle, on remet à 0 le nombre d'irrigation

```
if (n_rep[i]!=n_rep[i+1]) {
```

```
nb_irr=0}
```

Pour les irrigations pilotées suivant le nombre de jours de pluie après semis

```
if (identical(str_sub(culture[i],1,9),"lablab_IR") |
```

```
identical(str_sub(interrang[i],1,16), "sainfoin1_int_IR"))
```

On incrémente de 1 le compteur\_irr si la culture est encore la même. Si la culture est différente, le **compteur\_irr** est remis à 0

```

if (identical(str_sub(culture[i],1,9),str_sub(culture[i-1],1,9))){
    compteur_irr = compteur_irr+1
}

```

Quand on arrive au 20ème jour, si la somme des pluies est inférieure à 20, on irrigue avec la dose préconisée pour la culture

```

if (compteur_irr==20 & sum(Pluie[(i-20):i])<20 ){
    IR[i] = $Dose_IR[i] }

```

### Calcul de la lixiviation à partir des sorties du bilan hydrique et azoté

On utilise le tableau BilanN\_TtesRotations.csv, une des sorties du bilan azoté pour calculer la lixiviation pour chaque type de rotation.

Les données de lixiviation sont entrées dans une table nommée *Lixiviation*. En colonne on retrouve :

- Le nom des rotations
- La durée des rotations
- L'irrigation en mm totale sur une rotation (sortie de la fonction **Bilan\_hydrique**)
- L'irrigation en mm par an

$$\text{Irrigation\_mm\_an} = \text{Irrigation\_total} / \text{Duree}$$

- Le drainage en mm sur une rotation

$$\text{Drainage\_mm\_total} = \text{Drainage\_total}$$

- Le drainage en L/ha sur une rotation

$$\text{Drainage\_Lha\_total} = \text{Drainage\_mm\_total} * 10000$$

- Le drainage en mm par an

$$\text{Drainage\_mm\_an} = \text{Drainage\_mm\_total} / \text{Duree}$$

- L'excès d'azote minéral total sur une rotation en kgN/ha

$$\text{excesN\_total} = \text{excesNmin\_total}$$

- L'excès d'azote en mgN/ha sur une rotation

$$\text{excesN\_mgNha\_total} = \text{excesN\_total} * 1000000$$

- La lixiviation en mg NO<sub>3</sub>/L

$$\text{Lixiviation} = (\text{excesN\_mgNha\_total} / \text{Drainage\_Lha\_total}) * (68/14)$$



On exporte finalement les données dans un document csv qui sera utilisé dans le fichier de bilan azoté : Bilan\_lxiviation.csv

## ANNEXE 3 : Note explicative des cartes réalisées avec le logiciel QGis

Nous avons travaillé avec le logiciel Qgis (version 2.18.3) pour réaliser différents fonds de carte et notamment représenter le découpage du plateau en quatre zones, mais aussi pour calculer les surfaces des terres agricoles en fonction de leur assolement.

Notre projet Qgis s'appelle "Projet PVD 2017-18 Valensole Qgis" et se base sur différentes sources d'informations que nous avons retravaillées :

- Les limites des communes ayant une emprise sur le Plateau de Valensole fournies par Laure Hossard (INRA Montpellier) : "Communes Plateau Valensole" ;
- Le RPG (Registre Parcellaire Graphique) 2016 - accessible gratuitement sur data.gouv.fr et qui nous a été fourni par Laure Hossard (INRA Montpellier) : "RPG2016-Brut";
- Le réseau actuel d'irrigation (canaux) fourni par Eugénie Blanc-Coutagne (SCP) "Réseau-SCP";
- Les terrains agricoles concernés par l'extension probable du réseau d'irrigation fourni par Eugénie Blanc-Coutagne (SCP) : "Casiers-étudiés-pour-équipement-futur".

Comme expliqué en détail dans le rapport, nous avons redécoupé le RPG pour ne prendre que les parcelles sur le plateau et nous avons retiré les parcelles correspondant à des estives et landes, des prairies permanentes, de l'arboriculture, vignes et vergers, et des "occupations divers" (majoritairement bordures, bois, ou autre parcelles non exploitées). Ces modifications sont enregistrées dans la couche "RPG2016-Selection" et va nous servir pour la suite du travail.

Le RPG ainsi affiné a été découpé selon les trois zones A, B et D. La zone C correspondant au reste, il s'agit du RPG total moins les données des trois autres zones.

- Zone D : Forte pression du dépérissement du lavandin

D'après la thèse de Caroline Tardivo (2013-2016), cette zone peut être définie comme la surface des deux communes du Nord-Est du Plateau : St Jurs et Puimoisson.

La couche "Zone D-Dépérissement" correspond donc à la surface de ces deux communes et a servi à créer la couche "Parcelles Zone D" à partir du RPG.

- Zone A : Actuellement irrigable

A partir du tracé actuel du réseau fourni par la SCP ("Réseau-SCP"), nous avons défini un rayon de 2,5km pour créer la couche "Tampon irrigable". Cette distance définie avec Jacques Wery correspond à la potentielle distance de la buse d'irrigation et des tuyaux des agriculteurs par rapport aux canaux de la SCP. La couche tampon est ensuite affinée pour se rapprocher de la réalité (prise en compte des reliefs importants, éviter de couper en deux des parcelles...) et créer la couche "Zone A-Irrigation Actuelle". Comme précédemment, nous avons sélectionné les parcelles du RPG couvertes par la zone A pour créer la couche "Parcelles Zone A".

- Zone B : L'extension du réseau d'irrigation

La couche "Casiers-étudiés-pour-équipement-futur" qui présente les terres agricoles potentiellement concernées par l'extension du réseau d'irrigation, a d'abord été recoupée avec la couche "RPG2016-Selection" pour créer la couche "Parcelles irrigables".

Ensuite, comme ces deux couches couvrent une très grande partie du nord du plateau, nous sommes partis des explications d'E. Blanc-Coutagne sur l'extension du réseau pour délimiter la zone B. A savoir que l'extension se ferait en deux temps : d'abord vers Valensole, puis (éventuellement) vers St. Jurs. Nous avons donc construit la couche "Zone B-Extension irrigation" comme étant les communes de Valensole et d'Allemagne-en-Provence puisque c'est l'hypothèse la plus probable pour situer concrètement l'extension du réseau de la SCP.

Nous faisons donc une sélection des parcelles de la couche "Parcelles irrigables" sous la délimitation de la zone B pour créer la couche "Parcelles Zone B".

- Zone C : le reste

Nous n'avons pas réussi à réaliser convenablement une sélection des parcelles "*non précédemment sélectionnées*", c'est à dire qui ne sont ni en zone A, B, et D. Nous utilisons donc la couche "RPG2016-Selection" en-dessous des autres couches de type "Parcelle Zone X" (avec X = A, B ou D), et pour les calculs, nous les réalisons pour chaque zone, sur le RPG total et calculons la différence.

Tout ce travail est disponible sur demande auprès de Mathieu Bayot (Chaire AgroSYS).

## ANNEXE 4 : Tableau regroupant l'ensemble des données sur les cultures pour le bilan hydrique

| Culture           | CodeC | Date_ semis | DateE | Date_ floraison | Debut_ senescence | Date_ recolte | Date_ reprise | Tb | k   | Seuil_IR | Dose_IR | Nombre_ IR | RIE_ max | RIE_ min |
|-------------------|-------|-------------|-------|-----------------|-------------------|---------------|---------------|----|-----|----------|---------|------------|----------|----------|
| bledur            | 0     | 288         | 199   | 1295            | 1966              | 2249          | 0             | 0  | 5.8 | 0        | 0       | 0          | 1        | 0        |
| bledur_IR         | 0     | 288         | 199   | 1295            | 1966              | 2249          | 0             | 0  | 5.8 | 0        | 0       | 0          | 1        | 0        |
| colza             | 0     | 244         | 240   | 1419            | 2080              | 2422          | 0             | 0  | 5.8 | 0        | 0       | 0          | 1        | 0        |
| colza_IR          | 0     | 244         | 240   | 1419            | 2080              | 2422          | 0             | 0  | 5.8 | 0        | 0       | 0          | 1        | 0        |
| feverole          | 0     | 305         | 96    | 552             | 935               | 1158          | 0             | 2  | 5   | 0        | 0       | 0          | 1        | 0        |
| feverole_int      | 0     | 274         | 175   | 885             | 1492              | 1492          | 0             | 2  | 5   | 0        | 0       | 0          | 1        | 0        |
| feverole_int_IR   | 0     | 274         | 175   | 885             | 1492              | 1492          | 0             | 2  | 5   | 0        | 0       | 0          | 1        | 0        |
| feverole_IR       | 0     | 305         | 96    | 552             | 935               | 1158          | 0             | 2  | 5   | 0        | 0       | 0          | 1        | 0        |
| lablab            | 0     | 196         | 149   | 945             | 953               | 953           | 0             | 10 | 4.5 | 0        | 0       | 0          | 1        | 0        |
| lablab_IR         | 0     | 196         | 149   | 945             | 953               | 953           | 0             | 10 | 4.5 | 0        | 50      | 1          | 1        | 0        |
| lavandin+         | 1     | 1           |       | 550             | 1235              | 1235          | 91            | 3  | 5.8 | 0        | 0       | 0          | 1        | 0.2      |
| lavandin+_IR      | 1     | 1           |       | 550             | 1235              | 1235          | 91            | 3  | 5.8 | 0.3      | 50      | 5          | 1        | 0.2      |
| lavandin2         | 1     | 1           |       | 550             | 1235              | 1235          | 91            | 3  | 5.8 | 0        | 0       | 0          | 1        | 0.2      |
| lavandin2_IR      | 1     | 1           |       | 550             | 1235              | 1235          | 91            | 3  | 5.8 | 0.3      | 50      | 5          | 1        | 0.2      |
| lavandin1         | 1     | 1           | 0     | 1005            | 1693              | 1693          | 0             | 3  | 5.8 | 0        | 0       | 0          | 1        | 0.2      |
| lavandin1_IR      | 1     | 1           | 0     | 1005            | 1693              | 1693          | 0             | 3  | 5.8 | 0.3      | 50      | 5          | 1        | 0.2      |
| lentille_aut      | 0     | 305         | 96    | 552             | 935               | 1158          | 0             | 2  | 5   | 0        | 0       | 0          | 1        | 0        |
| lentille_aut_IR   | 0     | 305         | 96    | 552             | 935               | 1158          | 0             | 2  | 5   | 0        | 0       | 0          | 1        | 0        |
| lentille_prin     | 0     | 60          | 101   | 321             | 618               | 1056          | 0             | 2  | 5   | 0        | 0       | 0          | 1        | 0        |
| lentille_prin_IR  | 0     | 60          | 101   | 321             | 618               | 1056          | 0             | 2  | 5   | 0.2      | 50      | 1          | 1        | 0        |
| luzerne+          | 1     | 1           |       | 410             | 3176              | 3176          | 60            | 2  | 5.8 | 0        |         |            | 1        | 0.2      |
| luzerne+_IR       | 1     | 1           |       | 410             | 3176              | 3176          | 60            | 2  | 5.8 | 0.3      | 50      | 3          | 1        | 0.2      |
| luzerne1          | 1     | 60          | 71    | 411             | 3173              | 3173          | 0             | 2  | 5.8 | 0        | 0       | 0          | 1        | 0        |
| luzerne1_IR       | 1     | 60          | 71    | 411             | 3173              | 3173          | 0             | 2  | 5.8 | 0.3      | 50      | 3          | 1        | 0        |
| poisliche_aut     | 0     | 305         | 96    | 647             | 1143              | 1618          | 0             | 2  | 5   | 0        | 0       | 0          | 1        | 0        |
| poisliche_aut_IR  | 0     | 305         | 96    | 647             | 1143              | 1618          | 0             | 2  | 5   | 0        | 0       | 0          | 1        | 0        |
| poisliche_prin    | 0     | 60          | 69    | 394             | 765               | 1239          | 0             | 2  | 5   | 0        | 0       | 0          | 1        | 0        |
| poisliche_prin_IR | 0     | 60          | 69    | 394             | 765               | 1239          | 0             | 2  | 5   | 0.2      | 50      | 1          | 1        | 0        |
| poisprot          | 0     | 305         | 96    | 552             | 935               | 1158          | 0             | 2  | 5   | 0        | 0       | 0          | 1        | 0        |
| poisprot_IR       | 0     | 305         | 96    | 552             | 935               | 1158          | 0             | 2  | 5   | 0        | 0       | 0          | 1        | 0        |
| sainfoin2_int     |       |             |       |                 |                   |               |               | 2  | 5   | 0        | 0       | 0          | 1        | 0        |
| sainfoin1_int     |       |             |       |                 |                   |               |               | 2  | 5   | 0        | 0       | 0          | 1        | 0        |
| sainfoin2_int_IR  | 1     | 1           | 0     | 493             | 3255              | 3255          | 32            | 2  | 5   | 0        | 0       | 0          | 1        | 0        |
| sainfoin1_int_IR  | 1     | 60          | 71    | 411             | 3173              | 3173          | 0             | 2  | 5   | 0        | 50      | 1          | 1        | 0        |
| sainfoin1         |       |             |       |                 |                   |               |               | 2  | 5   | 0        | 0       | 0          | 1        | 0        |
| sainfoin1_IR      | 1     | 60          | 71    | 411             | 3173              | 3173          | 0             | 2  | 5   | 0        | 0       | 0          | 1        | 0        |
| sainfoin2         |       |             |       |                 |                   |               |               | 2  | 5   | 0        | 0       | 0          | 1        | 0        |
| sainfoin2_IR      | 1     | 1           |       | 493             | 1923              | 1923          | 32            | 2  | 5   | 0        | 0       | 0          | 1        | 0        |
| tournesol         | 0     | 60          | 59    | 693             | 1139              | 1694          | 0             | 6  | 4.5 | 0        | 0       | 0          | 1        | 0        |
| tournesol_IR      | 0     | 60          | 59    | 693             | 1139              | 1694          | 0             | 6  | 4.5 | 0        | 0       | 0          | 1        | 0        |
| triticale_int     | 0     | 32          | 199   | 968             | 968               | 968           | 0             | 0  | 5.8 | 0        | 0       | 0          | 1        | 0        |
| triticale_int_IR  | 0     | 32          | 199   | 968             | 968               | 968           | 0             | 0  | 5.8 | 0        | 0       | 0          | 1        | 0        |
| vesce/avoine      | 0     | 124         | 124   | 815             | 4184              | 4184          | 0             | 2  | 5.4 | 0        | 0       | 0          | 1        | 0        |
| vesce/avoine_IR   |       |             |       |                 |                   |               | 0             | 2  | 5.4 | 0        | 0       | 0          | 1        | 0        |
| CIPAN             | 0     | 244         | 240   | 1419            | 1455              | 1455          | 0             | 0  | 5.8 | 0        | 0       | 0          | 1        | 0        |
| CIPAN_IR          | 0     | 244         | 240   | 1419            | 1218              | 1218          | 0             | 0  | 5.8 | 0        | 0       | 0          | 1        | 0        |

# ANNEXE 5 : Note explicative du modèle de bilan d'azote

## Données culturales: fichier "cultures"

L'ensemble des données sur les cultures se trouve dans le fichier [Bibliothèque\\_cultures\\_azote.csv](#). Il est importé sur R sous le nom "**cultures**". Ce fichier contient pour chaque culture :

- le nom de l'espèce avec la mention "IR" si elle est irriguée, la mention "int" si elle est placée en inter-rang ;
- des codes supplémentaires précisant si elle est une légumineuse (0=non, 1=légumineuse annuelle, 2=légumineuse pérenne), un fourrage (0=non, 1=oui), irriguée ou pas (0=pas d'irrigation, 1=irrigation) ;
- la quantité d'azote minéral apporté par fertilisation (en kg de N/ha)
- son rendement de référence sur le plateau de Valensole (en kg de matière fraîche/ha)
- le pourcentage de matière sèche de ses différentes parties ;
- la teneur en azote de ses différentes parties (en % de matière sèche) ;
- la proportion d'azote d'origine atmosphérique pour les légumineuses. Ce paramètre étant très variable au sein d'une même espèce et très dépendant des conditions environnementales, il a été choisi de le fixer à 0,5 pour toutes les légumineuses. Ce choix permet de rendre compte du fait que les légumineuses ne prélèvent qu'une partie de leur azote dans l'atmosphère.
- les parties exportées : 0=pas de récolte, 1=grains récoltés, 2= plante entière récoltée. On considère que les pailles du blé sont exportées ;
- le prix de la culture en euros/T pour le blé et colza, en euros/kgHE pour le lavandin, en euros/ha pour la luzerne, le sainfoin et la vesce/avoine

## Codage R

Le modèle comporte trois parties principales : le calcul du bilan d'azote, le calcul des quantités produites, et la création des graphes.

### 1. Calcul du bilan d'azote et des rendements à l'échelle des rotations

#### a. Ecriture des rotations

L'utilisateur entre manuellement chaque rotation à étudier dans un vecteur.

Le script contient les rotations initiales pour chaque zone et les différentes rotations alternatives entrant dans les scénarios. Ex: **A\_ini** est le vecteur contenant la rotation initiale de la zone A, et

**A1\_prin** est le vecteur contenant la rotation alternative 1 de printemps pour la zone A. L'utilisateur entre enfin les inter-rangs souhaités (ex: **intA** est le vecteur de l'inter rang en zone A). Attention: l'année où l'inter-rang est cultivé n'est pas précisée, car cela n'influence pas les calculs.

**b. Calcul pour chaque année d'une rotation :**

**Pour l'azote :**

La fonction **BilanN\_Calcul** permet de calculer les différents termes du bilan d'azote. Le rendement ou la fertilisation est corrigé en fonction de l'effet du précédent selon les principes suivants :

| Culture                | Précédent            | Irrigation  | Rendement | Fertilisation |
|------------------------|----------------------|-------------|-----------|---------------|
| <i>Non légumineuse</i> | Non légumineuse      | Indifférent | Inchangé  | Inchangée     |
|                        | Légumineuse annuelle | Oui         | +10%      | Inchangée     |
|                        |                      | Non         | Inchangé  | -20%          |
|                        | Légumineuse pérenne  | Oui         | +20%      | Inchangée     |
|                        |                      | Non         | Inchangé  | -40%          |
| <i>Légumineuse</i>     | Indifférent          | Indifférent | Inchangé  | Inchangé      |

On considère que le rendement du lavandin n'est pas modifié par le précédent, car il n'est pas récolté l'année de plantation.

Les rendements sont convertis en **matière sèche** et **quantité d'azote** dans les grains et pailles, puis le bilan apparent d'azote pour une année de la rotation est calculé de la manière suivante :  $\text{bilanN} = \text{Nfertilisation} + \text{Nfixé} - \text{Nexporté}$

**N.B.:** 0: rien n'est exporté de la parcelle =>  $\text{bilan N} = \text{Nfertilisation} + \text{Nfixé}$

1: grains exportés =>  $\text{bilan N} = \text{Nfertilisation} + \text{Nfixé} - \text{NGrain}$

2: grains et pailles exportés=>  $\text{bilan N} = \text{Nfertilisation} + \text{Nfixé} - \text{NGrain} - \text{NPaille}$

### Pour les rendements :

La fonction **RdtCumul\_Calcul** permet de calculer pour chaque culture son rendement cumulé sur le nombre d'années où elle est présente dans la rotation. Par exemple, pour le lavandin présent 10 ans, le rendement cumulé correspond à la somme des rendements annuels.

#### c. Pour la totalité de chaque rotation :

### Pour l'azote :

La fonction **BilanN\_Rotation** calcule des indicateurs d'intérêt issus du bilan d'azote au total sur toute la durée de la rotation, ainsi qu'en moyenne par année de rotation. Elle utilise pour cela les résultats de la fonction **BilanN\_Calcul**. En plus des termes du bilan d'N apparent, on calcule des indicateurs plus parlants, comme la quantité de CO<sub>2</sub> émise par l'apport d'N minéral et son équivalent en termes de trajets Paris-Valensole, ou le nombre d'ha de blé dont la fertilisation correspondrait à la quantité d'azote fixé par les légumineuses.

Pour calculer les moyennes par an, on utilise la fonction **duree** qui permet de déterminer la durée de la rotation sans tenir compte de l'inter-rang ni des inter-cultures.

### Pour les rendements :

La fonction **RdtCumul\_Rotation** calcule pour chaque rotation les productions de toutes les cultures par hectare sur toute la durée de la rotation. En divisant ces chiffres par la durée de la rotation, on obtient un rendement annuel moyen pour chaque culture. Elle utilise pour cela les résultats de la fonction **RdtCumul\_Calcul**. On calcule également des indicateurs plus parlants, comme le nombre de personnes nourries en blé et en légumineuses par hectare de la rotation. De plus, ces productions sont multipliées par leur prix de vente afin d'avoir une idée de la valeur économique générée par la rotation.

### *Comparatif des rotations*

Le tableau **BilanN\_TtesRotations** rassemble les résultats pour toutes les rotations, permettant une comparaison du point de vue de l'**azote**. Le tableau **RdtCumul\_TtesRotations** rassemble les sorties de la fonction **RdtCumul\_Rotation** pour toutes les rotations, permettant de les comparer du point de vue des **quantités produites** par ha.

## 2. Calcul du bilan d'azote et des rendements à l'échelle des zones et du plateau

#### a. **Ecriture des scénarios :**

Les scénarios sont écrits sous forme de tableaux de données

Pour chaque zone et chaque scénario, on entre le ratio ou “probabilité” de chaque rotation, en admettant que toutes les rotations sélectionnées pour être présentes sur une zone y sont de manière équiprobable. Le ratio (r) est donc calculé comme suit:  $r = 1/n$ , avec n le nombre de rotations possibles sur la zone.

ex: **scenario\_I\$A1\_aut** est la probabilité associée à la rotation1 d’automne sur la zone A dans le scénario I.

La fonction **surface\_scenario** calcule les surfaces de chaque rotation dans chaque scénario, en faisant le produit du ratio de la rotation par la surface de la zone qui lui est associée.

#### b. **Extrapolation à l’échelle des zones**

Enfin, les bilans d’azote précédemment estimés pour chaque rotation sont pondérés par les surfaces de chacune d’elles via la fonction **BilanN\_Scenario\_Rot**. La somme de ces bilans est effectué grâce à la fonction **BilanN\_Scenario\_Zone**. On obtient donc ces bilans à l’échelle des zones mais aussi à l’échelle du plateau pour le scénario voulu.

La fonction **RdtCumul\_Scenario\_Rot** multiplie les rendements de la rotation par la surface qui lui est attribuée. **RdtCumul\_Scenario\_Zone** additionne les productions de chaque culture à l’intérieur de chaque zone et sur l’ensemble du plateau pour le scénario voulu.

#### *Comparatif des scénarios*

Les bilans d’azote de tous les scénarios sont regroupés dans le tableau **BilanN\_TsScenarios**. Les rendements cumulés de tous les scénarios sortent dans le tableau **RdtCumul\_TsScenarios**.

#### c. **Intégration des résultats du bilan hydrique**

L’excédent d’azote de chaque rotation, obtenu dans le tableau **BilanN\_TtesRotations**, a ensuite été utilisé dans le modèle de bilan hydrique afin de calculer la concentration de nitrates dans l’eau de drainage en fonction du climat de l’année. Puis la moyenne de ces concentrations sur les 60 années simulées a été calculée. Le tableau **Bilan\_Hyd\_Scenario\_Zone** donne les résultats de l’extrapolation de cet indicateur, des quantités d’eau drainées et de l’irrigation à l’échelle de chaque zone pour le scénario voulu.



### 3. Présentation des résultats

Le tableau **table\_graphe** présente la compilation de tous les résultats par zone ou à l'échelle du plateau pour le scénario voulu. Ce tableau est ensuite utilisé pour construire les graphes pour les différents indicateurs.

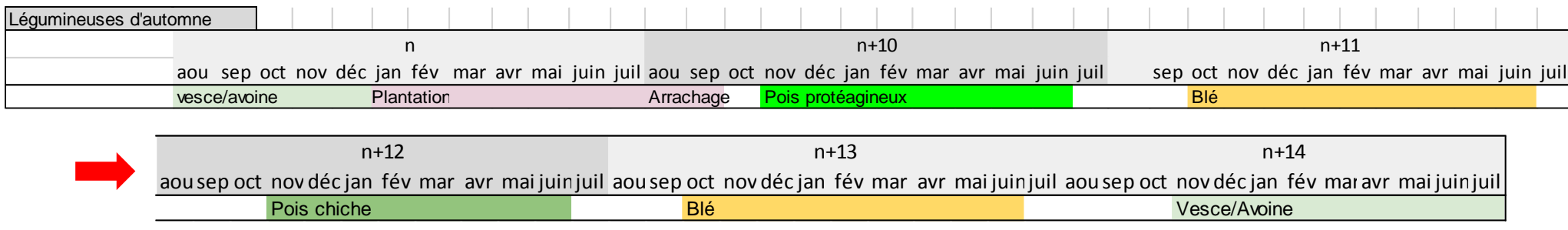
Enfin, les fonctions **BilanN\_Differentiel** et **RdtCumul\_Differentiel** ont été ajoutées afin pouvoir comparer deux rotations en calculant la différence entre les deux pour chaque indicateur.

## ANNEXE 6 : Présentation des calendriers des rotations

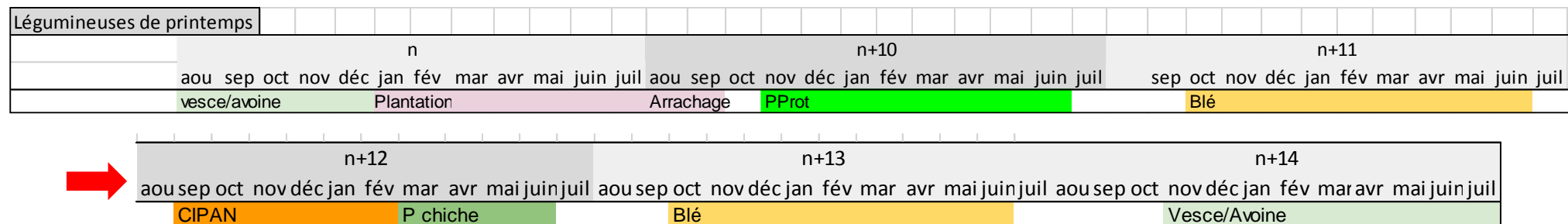




### Zone C – Proposition de rotation avec des légumineuses d'automne



### Zone C – Proposition de rotation avec des légumineuses de printemps



### Zone D – Rotation initiale

#### Rotation initiale

|                    | n   |     |     |     |     | n+3                 |     |     |     |     | n+4  |      |           |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |
|--------------------|-----|-----|-----|-----|-----|---------------------|-----|-----|-----|-----|------|------|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|
|                    | aou | sep | oct | nov | déc | jan                 | fév | mar | avr | mai | juin | juil | aou       | sep | oct | nov | déc | jan | fév | mar | avr | mai | juin | juil |
| Culture principale |     |     |     |     |     | Plantation lavandin |     |     |     |     |      |      | Arrachage |     |     |     |     | Blé |     |     |     |     |      |      |

### Zone D – Proposition de rotation avec des légumineuses d'automne

#### Légumineuses d'automne

|               | n             |     |     |     |     | n+1                 |     |     |                      |          | n+4  |      |                         |     |     | n+5 |     |     |     |     |     |     |      |      |           |     |     |     |     |                   |     |     |     |     |      |      |
|---------------|---------------|-----|-----|-----|-----|---------------------|-----|-----|----------------------|----------|------|------|-------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|-----------|-----|-----|-----|-----|-------------------|-----|-----|-----|-----|------|------|
|               | aou           | sep | oct | nov | déc | jan                 | fév | mar | avr                  | mai      | juin | juil | aou                     | sep | oct | nov | déc | jan | fév | mar | avr | mai | juin | juil | aou       | sep | oct | nov | déc | jan               | fév | mar | avr | mai | juin | juil |
| Proposition 1 | Repousses lég |     |     |     |     | Plantation lavandin |     |     |                      |          |      |      |                         |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      | Arrachage |     |     |     |     | Pois Chiche       |     |     |     |     |      |      |
| Proposition 2 | Repousses lég |     |     |     |     | Plantation lavandin |     |     |                      |          |      |      |                         |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      | Arrachage |     |     |     |     | Pois protéagineux |     |     |     |     |      |      |
| Interrang     |               |     |     |     |     | Triticale           |     |     | Destruction chimique | Féverole |      |      | Destruction par roulage |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |           |     |     |     |     |                   |     |     |     |     |      |      |

### Zone D – Proposition de rotation avec des légumineuses de printemps

#### Légumineuses de printemps

|               | n             |     |     |     |     | n+1                 |     |     |                      |          | n+4  |      |                         |     |     | n+5 |     |     |     |     |     |     |      |      |           |     |     |     |     |             |     |     |     |     |      |      |
|---------------|---------------|-----|-----|-----|-----|---------------------|-----|-----|----------------------|----------|------|------|-------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|-----------|-----|-----|-----|-----|-------------|-----|-----|-----|-----|------|------|
|               | aou           | sep | oct | nov | déc | jan                 | fév | mar | avr                  | mai      | juin | juil | aou                     | sep | oct | nov | déc | jan | fév | mar | avr | mai | juin | juil | aou       | sep | oct | nov | déc | jan         | fév | mar | avr | mai | juin | juil |
| Proposition 1 | Repousses lég |     |     |     |     | Plantation lavandin |     |     |                      |          |      |      |                         |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      | Arrachage |     |     |     |     | Pois Chiche |     |     |     |     |      |      |
| Interrang     |               |     |     |     |     | Triticale           |     |     | Destruction chimique | Féverole |      |      | Destruction par roulage |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |           |     |     |     |     |             |     |     |     |     |      |      |