
Rapport de stage de césure

Projet 3C2A

Evaluation des facteurs de réussite et d'échec de la mise en place des séquences « 3 Cultures en 2 Ans ».

-

Cas du soja dérobé



Hermine SARTHOU

Table des matières

Table des matières	2
Table des figures	6
Table des tableaux	9
Liste des abréviations	10
I Introduction	11
II Contexte	13
2.1) L’agriculture dans le Grand Sud-Ouest	13
2.1.a) L’agriculture en Nouvelle-Aquitaine	13
2.1.b) L’agriculture en Occitanie	15
2.1.c) Conséquences des pratiques agricoles	15
2.1.d) Situation économique des exploitations agricoles	16
2.2) Changement climatique et pratiques agricoles	17
2.2.a) Situations pédologiques en Nouvelle-Aquitaine et Occitanie	17
Nouvelle Aquitaine	17
Occitanie	18
2.2.b) Evolution du climat et conséquences agronomiques	19
2.2.c) Les doubles cultures : état des lieux et perspectives	21
III Problématiques	26
IV Matériels et méthodes	27
4.1) Sources d’information et outils de collecte	27
4.1.a) Bibliographie et sitographie	27
4.1.b) Personnes ressources	27
4.2.c) Conseillers agricoles	27
4.2.d) Agriculteurs	27
4.2) Conception des différents modes d’enquête	28

4.2.a) Enquête en ligne via le logiciel LimeSurvey	28
Les objectifs	28
Elaboration de l'enquête.....	28
Communication de l'enquête	29
4.2.b) Enquête « directe »	29
Les objectifs	29
Elaboration de l'enquête.....	29
Communication de l'enquête	30
4.3) Evaluation des profils.....	30
4.3.a) Synthèse des itinéraires techniques recueillis	30
4.3.b) Synthèse des réponses de l'enquête en ligne	30
4.3.c) Etude climatique	30
4.4) Etablissement de règles de décision pour la construction d'un arbre d'estimation de rendement pour le soja dérobé.....	31
4.4.a) Critères de réussite	31
Critère thermique.....	31
Critère de l'eau	34
4.4.b) Choix des indicateurs.....	34
4.4.d) Calcul de la fréquence de réussite des critères établis	35
V_ Résultats	36
5.1) Présentation des échantillons	36
5.1.a) Cartographie des réponses à l'enquête en ligne.....	36
5.1.b) Cartographie des réponses à l'enquête directe.....	36
5.1.c) Identification des profils	37
5.2) Identification des principaux leviers et freins à la mise en place de doubles cultures ..	40
5.2.a) Motivations à la mise en place de doubles cultures	40
5.2.b) Freins à la mise en place et au développement des doubles cultures	41

Freins à la mise en œuvre de doubles cultures	41
Freins rencontrés par les agriculteurs ayant mis en place des cultures relais.....	42
Freins rencontrés par les agriculteurs ayant mis en place des cultures dérochées	43
5.2.c) Leviers à la mise en place et au développement des doubles cultures.....	44
Leviers identifiés par les agriculteurs ayant mis en place des cultures relais	44
Leviers identifiés par les agriculteurs ayant mis en place des cultures dérochées.....	45
5.3) Elaboration des règles de décision pour la construction d'un arbre de décision pour le soja déroché.....	47
5.3.a) Les besoins en degrés-jours du soja déroché.....	47
5.3.b) Les besoins en eau	49
5.3.c) Ebauche des règles de décision à la réussite du soja en déroché.....	49
Degrés-jours	49
Pluviométrie et irrigation	49
5.3.d) Fréquence de réussite des conditions météorologiques	50
VI_ Discussions et perspectives	52
6.1) Discussion et perspectives de la méthode	52
6.1.a) Enquêtes auprès des agriculteurs	52
6.1.b) Mise en place de règles de décision.....	52
Manque de données bibliographiques	52
Calcul des besoins en degrés-jours.....	52
Données expérimentales.....	52
Etude climatique.....	52
6.2) Discussion et perspectives des résultats	53
6.2.1) Profils étudiés dans l'analyse des freins et leviers aux doubles cultures.....	53
6.2.2) Freins et leviers identifiés à la mise en place de doubles cultures.....	53
6.2.3) Règles de décisions à l'établissement d'un arbre de décision du soja déroché.....	56
VII Conclusion	58

Bibliographie.....	59
Annexes.....	62

Table des figures

Figure 1 : Carte de l'orientation technico-économique des communes de la région Nouvelle-Aquitaine (Source : Agreste, 2010)	13
Figure 2 : Carte de la répartition des grandes cultures en Nouvelle-Aquitaine (Source : Agreste, 2015).....	14
Figure 3 : Carte des orientations technico-économiques des exploitations agricoles de la région Occitanie (Source : Agreste, 2010)	15
Figure 4 : Évolution du prix de vente, en €/q, des céréales et oléo-protéagineux entre 1997 et 2016 (Source : Agreste Bulletin mensuel : cotations mensuelles).....	16
Figure 5 : Résultat courant avant impôt (k€) de 1988 à 2018 des exploitations agricoles dont celles spécialisées en COP (Source : Agreste, statistique agricole).....	16
Figure 6 : Carte des petites régions agricoles (PRA) d'une partie de la région Occitanie (Source : Guiresse et al.,2014).....	18
Figure 7 : Moyenne annuelle de précipitation de la période 1981-2010 (Source : Eaufrance.fr, d'après Météo-France).....	19
Figure 8 : Evolution des températures moyennes annuelles de 1960 à 2018 par rapport à la moyenne annuelle de la période 1981-2010 (Source : Météo-France)	20
Figure 9 : Moyenne annuelle de référence 1981-2010 des précipitations (Source : Météo-France).....	21
Figure 10 : Schéma représentatif d'une culture dérobée et d'une culture relais (Source : Perspective Agricole).....	22
Figure 11 : Pénalisation du rendement de la céréale produite en première culture en culture relais par rapport à la même céréale semée classiquement. (Source : Perspectives-agricoles.com, d'après Arvalis).....	23
Figure 12 : Comparaison de la production par hectare du soja et de l'orge en culture relais, en culture dérobée et en conventionnel (Source : Arvalis, 2018)	24
Figure 13 : Zones de culture favorables aux systèmes de culture dérobée (à gauche) et de culture relais (à droite) sur la période 1998-2018, selon les espèces envisagées, avec une probabilité de réussite de la culture de 80% (Source : Perspectives agricoles, d'après Arvalis).....	24
Figure 14 : Schéma de l'enquête soumise aux agriculteurs.....	29
Figure 15 : Méthode de calcul linéaire des besoins en degrés-jours	32

Figure 16 : Méthode triangulaire de calcul de température effective pour le développement d'une culture (Source : d'après le modèle STICS).....	33
Figure 17 : Position des indicateurs de réussite dans le cycle de développement du soja	35
<i>Figure 18 : Carte présentant la localisation des différents agriculteurs ayant répondu à l'enquête en ligne (Carré bleu : cultures dérobées ; carré vert : culture relais ; carré violet : les deux ; carré rouge : aucune)</i>	<i>36</i>
Figure 19 : Carte présentant la localisation des agriculteurs ayant été enquêtés en direct (Carré bleu : cultures dérobées ; carré vert : culture relais ; carré violet : les deux).....	37
Figure 20 : Cultures dérobées effectuées par les agriculteurs enquêtés en direct	38
Figure 21 : Cultures dérobées effectuées par les agriculteurs enquêtés en ligne	38
Figure 22 : Mode de production des agriculteurs enquêtés via internet.....	39
Figure 23 : Pratiques de travail du sol des agriculteurs enquêtés en ligne.....	39
Figure 24 : Pratiques de travail du sol des agriculteurs enquêtés en direct.....	39
Figure 25 : Les motivations à la mise en place de doubles cultures chez les agriculteurs enquêtés en ligne	40
Figure 26 : Les motivations à la mise en place de doubles cultures chez les agriculteurs enquêtés en direct.....	41
<i>Figure 27 : Les principaux facteurs d'échec des cultures dérobées selon les agriculteurs enquêtés en ligne</i>	<i>43</i>
Figure 28 : Facteurs de réussite des cultures dérobées selon les agriculteurs enquêtés en ligne	45
Figure 29 : Ebauche des règles de décision pour la construction d'un arbre de décision pour le soja dérobé.....	50
Figure 30 : Cumul des précipitations et des degrés-jours du 20 juin au 10 octobre de 2006 à 2020 pour la station d'Auch.....	50
Figure 31 : Cumul des précipitations et des degrés-jours du 20 juin au 10 octobre de 2006 à 2020 pour la station de Montauban	51
Figure 32 : Différence de pluviométrie entre la période 1985-2010 et la période 2006-2020 à Auch	55
Figure 33 : Différence de pluviométrie entre la période 1985-2010 et 2003-2020 à Montauban	55
Figure 34 : Position des nouveaux indicateurs dans le cycle de développement du soja dérobé	57

Table des tableaux

Tableau 1 : Informations nécessaires et sources utilisées	27
Tableau 2 : Récapitulatif des variétés étudiées dans les essais et leur groupe de maturité	31
Tableau 3 : Localisation des stations expérimentales et années des essais utilisés.....	32
Tableau 4 : Valeurs des différentes températures utilisées pour les calculs de degrés-jours ...	33
Tableau 5 : Critères de décision à la réussite du soja en dérobé	34
Tableau 6 : Tableau des principaux freins identifiés à la mise en place de cultures relais	42
Tableau 7 : Principaux freins identifiés à la réussite de cultures dérobées	43
Tableau 8 : DJ calculés du semis à la levée du soja en dérobé selon les groupes de maturité.	47
Tableau 9 : DJ calculés du semis à la levée du soja dérobé selon le PMG (Poids de Milles Graines)	47
<i>Tableau 10 : Besoins en DJ du soja en dérobé de la levée à la floraison selon les groupes de maturité</i>	<i>47</i>
Tableau 11 : Besoins en DJ du soja en dérobé de la floraison au stade R8 selon les groupes de maturité.....	48
Tableau 12 : Tableau récapitulatif des besoins du soja selon les stades	48
Tableau 13 : Besoins en DJ estimés entre R8 et la récolte selon les groupes de maturité	48
Tableau 14 : Critères et indicateurs à prendre en compte pour l'élaboration d'un arbre de décision pour le soja dérobé	57

Liste des abréviations

3C2A : 3 cultures en 2 ans

ACS : Agriculture de Conservation des Sols

CIPAN : Culture Intermédiaire Piège A Nitrates

COP : Céréales Oléagineux Protéagineux

CRAO : Chambre Régionale d'Agriculture d'Occitanie

CRANA : Chambre Régionale d'Agriculture de Nouvelle-Aquitaine

DJ : Degrés-jours

GIEE : Groupement d'Intérêt Economique et Environnemental

ITK : Itinéraire Technique

PMG : Poids de Mille Grains

PRA : Petite Région Agricole

RCAI : Revenu Courant Avant Impôt

SAU : Surface Agricole Utile

TCS : Techniques Culturelles Simplifiées

I Introduction

Le monde agricole du XXIème siècle est marqué par plusieurs enjeux, tout aussi importants les uns que les autres. Jusqu'à aujourd'hui nous faisons face à des systèmes de production qui se spécialisaient de plus en plus pour accroître la productivité et la rentabilité économique de l'exploitation. Cependant, ce modèle va à l'encontre des enjeux environnementaux, économiques et sociétaux actuels. Ainsi, les modèles agricoles « intensifs » que nous avons connus jusqu'à présent atteignent leurs limites, même agronomiques, ce qui découle sur une prise de conscience de la part de la sphère agricole, scientifique et sociétal face aux enjeux actuels.

Avec le changement climatique de plus en plus pesant, les systèmes agricoles se doivent d'être résilients face aux aléas climatiques. Cependant, les « nouveaux » systèmes agricoles émergents ne doivent pas mettre de côté la compétitivité face à la concurrence mondiale actuelle.

D'un point de vue environnemental, l'agriculture a pour objectif de limiter la fuite d'éléments minéraux par ruissèlement. Dans ce cadre-là, la « Directive Nitrates » a été adoptée pour limiter ce phénomène, et elle incite notamment à ce qu'une couverture végétale soit mise en place pendant les intercultures longues dans certaines régions. Un autre levier pour limiter l'apport d'intrants (fertilisants minéraux, pesticides, etc.) est d'intégrer de nouvelles espèces dans la rotation culturale. Ce dernier levier permet aussi de satisfaire une demande sociétale, qui est de réduire l'usage de produits chimiques dans nos champs agricoles.

Ce qui a pu être à la base une contrainte pour les agriculteurs, se transforme peu à peu en une opportunité économique. En effet, en plus des intérêts agronomiques que les couverts végétaux ou les CIPAN (cultures intermédiaires pièges à nitrates) peuvent procurer, cela donne l'opportunité de faire une autre culture récoltée pendant cette fourchette de temps durant laquelle les sols étaient initialement nus et perdaient des éléments nutritifs essentiels aux plantes. Certains agriculteurs des régions Occitanie et Nouvelle-Aquitaine mettent déjà en place ces techniques depuis plusieurs années afin de répondre aux enjeux précédemment cités.

Ainsi, les doubles cultures s'inscrivent dans ce contexte particulier auquel font faces les agriculteurs : augmenter la robustesse et la résilience des exploitations agricoles face au changement climatique mais aussi à la volatilité des prix.

Face à ces défis majeurs, les Chambres Régionales d'Agriculture d'Occitanie (CRAO) et de Nouvelle Aquitaine (CRANA) ont monté un projet sous le nom de 3C2A « 3 Cultures en 2 Ans » afin d'évaluer la faisabilité de produire 3 cultures en 2 ans, au travers de cultures dérobées ou en relai, ainsi que les performances que ces pratiques peuvent présenter.

Une des actions du projet repose sur une évaluation multicritère des systèmes intégrant une séquence « doubles cultures ». Cette action est celle que nous allons traiter pour la suite.

Cette étude s'intéressera dans un premier temps aux contextes dans lesquels s'inscrivent les régions de Nouvelle-Aquitaine et Occitanie. Cela se traduira notamment par l'évaluation du contexte agricole des régions mais aussi des conditions pédoclimatiques actuelles et futures ainsi que leur implication dans un changement des pratiques agricoles. Dans un second temps, seront présentés les différentes problématiques liées au sujet ainsi que les méthodes

d'acquisition et traitements des résultats. Ensuite nous verrons si les résultats obtenus nous permettent d'identifier les freins et leviers principaux ainsi que certains critères établis pour estimer la réussite d'une culture dérobée particulière, le soja. Enfin, les résultats ainsi que la méthodologie seront discutés afin de pouvoir identifier les perspectives et les connaissances qui resteront à acquérir afin d'améliorer le développement de ces pratiques.

II Contexte

2.1) L'agriculture dans le Grand Sud-Ouest

La Nouvelle-Aquitaine et l'Occitanie sont les deux premières régions agricoles de France avec respectivement 15% (Agreste, 2020) et 12% (Agreste, 2021) de la SAU (Surface Agricole Utile) nationale.

2.1.a) L'agriculture en Nouvelle-Aquitaine

La Nouvelle-Aquitaine est une région diversifiée (figure 1) : plus de la moitié des exploitations sont concernées par l'élevage et 1/3 par les grandes cultures et 1/6 par la viticulture (Agreste, 2015).

L'élevage de bovin et d'ovin sont concentrés dans les départements du Limousin et des Pyrénées-Atlantiques, tandis que l'élevage caprin se situe surtout dans les départements des Deux-Sèvres et de la Vienne. La production viticole se situe notamment autour de Bordeaux et de Cognac.

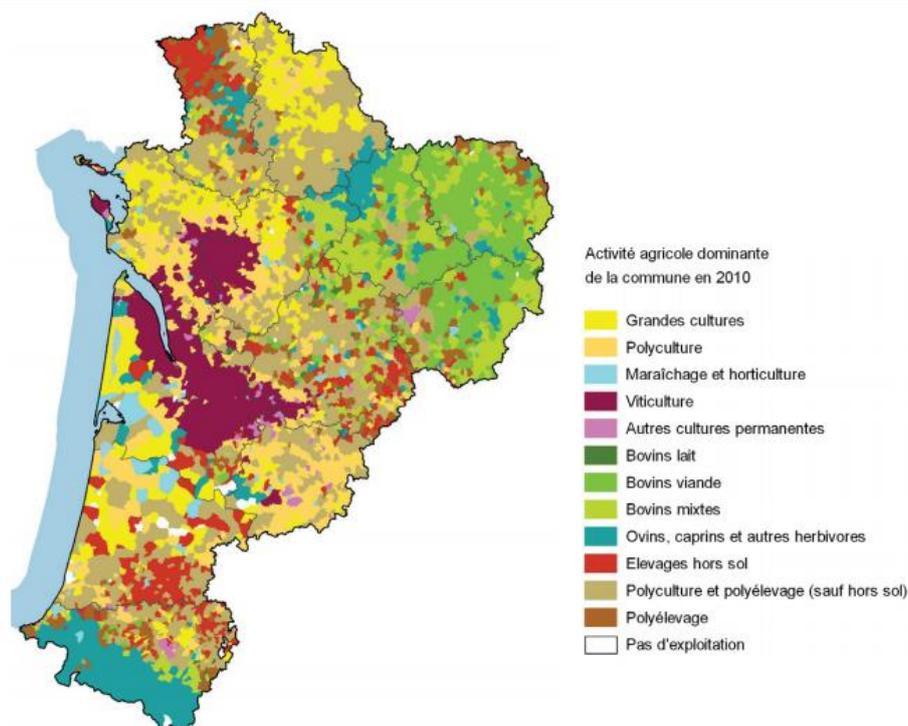


Figure 1 : Carte de l'orientation technico-économique des communes de la région Nouvelle-Aquitaine (Source : Agreste, 2010)

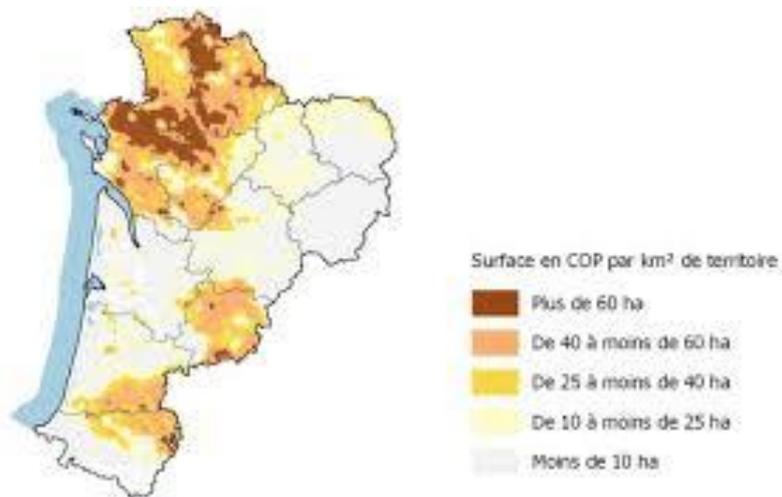


Figure 2 : Carte de la répartition des grandes cultures en Nouvelle-Aquitaine (Source : Agreste, 2015)

Les grandes cultures prédominent en termes de surface, car elles concernent 40% de la SAU de la région. Comme pour les autres orientations, les Céréales-Oléagineux-Protéagineux (COP) sont répartis dans des bassins : les départements de l'ex **Poitou-Charentes**, le **Lot et Garonne**, le sud-est des **Landes** et le nord-est des **Pyrénées-Atlantiques** (figure 2).

Les principales productions sont le blé tendre et le maïs grain avec respectivement 30% et 25% de la surface des COP.

Les rotations principales que l'on rencontre dans ces zones sont :

- Colza – Blé tendre – Orge d'hiver ou blé tendre
- Colza – Blé tendre ou dur – Tournesol – Blé tendre ou Orge d'hiver
- Tournesol – Blé tendre – Maïs grain – Blé tendre
- Monoculture de maïs

2.1.b) L'agriculture en Occitanie

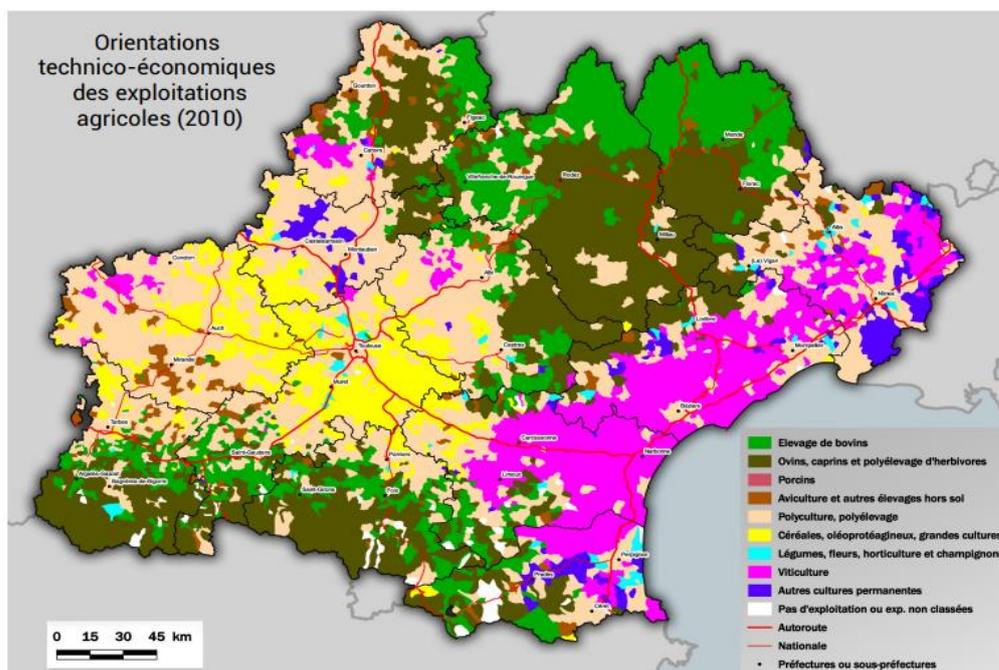


Figure 3 : Carte des orientations technico-économiques des exploitations agricoles de la région Occitanie (Source : Agreste, 2010)

L'Occitanie est aussi une région très diversifiée, elle se partage entre l'élevage, les grandes cultures et la viticulture (figure 3). L'élevage se concentre au niveau des Pyrénées (Hautes-Pyrénées, sud de la Haute-Garonne, Ariège et Pyrénées-Atlantiques) avec près de 50% de la surface agricole de la région (SAA,2019) ; les COP se concentrent dans le **centre-ouest de la région** (nord de la Haute-Garonne, est du Gers, sud du Tarn et Garonne, sud-ouest du Tarn et est de l'Aude) avec près de 30% de la surface (SAA,2019) et la viticulture se concentre sur la côte méditerranéenne avec 9% de la SAU occitane (SAA,2019).

Les rotations les plus courantes rencontrées dans la zone géographique au sein de laquelle les COP prédominent sont aussi relativement courtes, comme en Nouvelle-Aquitaine :

- Blé tendre – Tournesol
- Blé tendre – Soja
- Monoculture de maïs
- Maïs – Céréale à paille (- Protéagineux type Soja)

2.1.c) Conséquences des pratiques agricoles

Les rotations « classiques » des deux régions sont relativement courtes et impliquent des longues périodes d'interculture pendant lesquelles les sols sont nus, ce qui a comme conséquences principales la perte de matière organique et la fuite d'éléments minéraux, comme les nitrates. La diversification des rotations permet d'augmenter la résilience des systèmes face au changement climatique (Timothy M. Bowles et al., 2020), réduire l'utilisation d'intrants, augmenter les services écosystémiques et cela permet à termes d'intensifier agronomiquement et économiquement de façon durable les exploitations agricoles.

Cependant, ces pratiques changent, les rotations sont de plus en plus diversifiées et longues, ce qui permet de réduire les périodes d'intercultures durant lesquelles les sols sont nus. De plus, la mise en place de couverts végétaux durant ces périodes s'est démocratisée, grâce à la Directive Nitrates et à la prise de conscience du monde agricole. Ces périodes sont donc maintenant perçues par certains agriculteurs comme une opportunité de faire une culture récoltée pendant la période estivale : les cultures dérobées. Dans le même souci de produire une culture en plus dans une année, et qui permettrait de réduire l'utilisation d'intrants tout en ayant une couverture du sol pendant la saison estivale, une technique plus complexe et un peu plus anecdotique tend à se développer : la culture en relais.

2.1.d) Situation économique des exploitations agricoles

Le prix des céréales et oléo-protéagineux, dépendants du marché mondial, subit des variations conséquentes interannuelles depuis 2006 (figure 4).

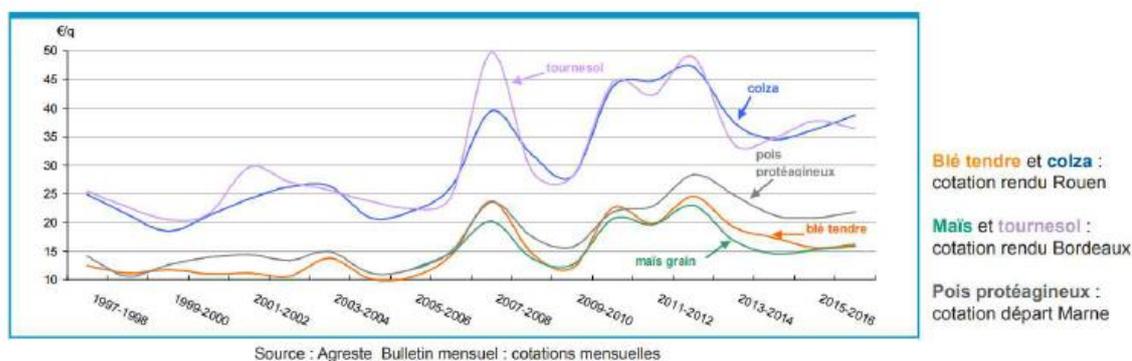


Figure 4 : Évolution du prix de vente, en €/q, des céréales et oléo-protéagineux entre 1997 et 2016 (Source : Agreste Bulletin mensuel : cotations mensuelles)

Cette fluctuation se retrouve ainsi dans le revenu des agriculteurs, ce qui a pour conséquence une plus grande fragilité économique des exploitations. La variation accrue à partir de 2006 concerne aussi le Résultat Courant Avant Impôt (RCAI), comme le montre la figure 5.

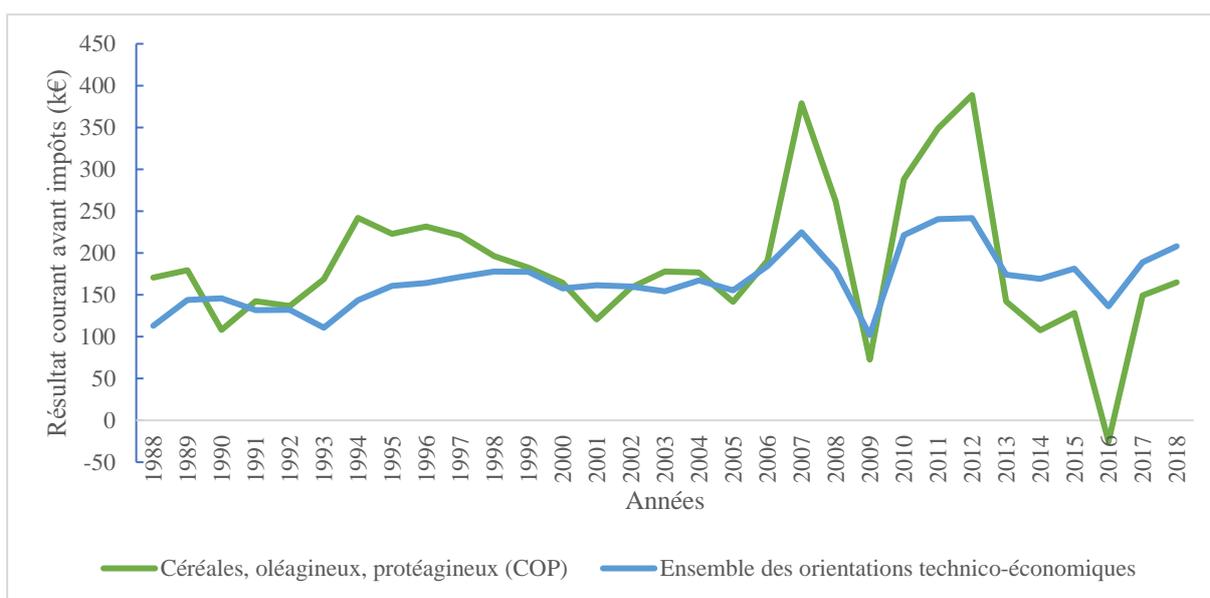


Figure 5 : Résultat courant avant impôt (k€) de 1988 à 2018 des exploitations agricoles dont celles spécialisées en COP (Source : Agreste, statistique agricole)

Cette dernière montre également une forte chute du RCAI à partir de 2013. Les exploitations spécialisées en COP sont plus fortement touchées que la moyenne des exploitations agricoles françaises. 2016 fut une année particulièrement difficile pour les exploitations spécialisées en COP (figure 5), cela est notamment lié aux accidents climatiques, et des prix restés faibles.

2.2) Changement climatique et pratiques agricoles

2.2.a) Situations pédologiques en Nouvelle-Aquitaine et Occitanie

Le territoire d'étude étant très grand, nous allons nous concentrer dans les zones géographiques au sein desquelles les COP sont majoritaires :

- Nouvelle-Aquitaine : l'ex Poitou-Charentes, le Lot et Garonne, le sud-est des Landes et le nord-est des Pyrénées-Atlantiques
- Occitanie : **centre-ouest de la région** (nord de la Haute-Garonne, est du Gers, sud du Tarn et Garonne, sud-ouest du Tarn et est de l'Aude)

Ces zones d'études ont été choisies car ce sont celles dans lesquelles les doubles cultures sont le plus susceptibles d'être cultivées.

Nouvelle Aquitaine

Le Poitou-Charentes couvre des sols très diversifiés avec les plateaux du Limousin à l'est, le massif vendéen à l'ouest, le bassin parisien au nord et le bassin d'Aquitaine au sud.

Les terres calcaires sont très présentes : plaines et collines. Ces terres sont argilo-limoneuses, séchantes et caillouteuses pour les plaines et avec une bonne réserve en eau pour les plaines.

Au sein des plateaux du seuil du Poitou, nous retrouvons des limons sur argile (terres battantes) et des sables sur substrat d'argile (sols acides et caillouteux).

Les plateaux des terres rouges sont des sols limoneux sur une argile rouge, ce sont des sols acides avec une bonne réserve en eau, ce sont des brunisols.

Dans le Lot-et-Garonne nous retrouvons des boubènes sur les hautes terrasses du Queyran et sur les flancs des vallées ; et des terreforts au niveau des plateaux et des versants de la Gascogne. Les terreforts sont des sols profonds argilo-calcaires, difficiles à travailler mais considérés comme étant fertiles. Les boubènes sont des terres sablo-limoneuses, plutôt acides, faciles à travailler mais très humides en hiver et durs en été.

Les terres brunes sont les sols dominants dans la petite région agricole des Coteaux du Béarn dans les Pyrénées-Atlantiques, ces sols sont très fertiles et assez profonds. Ces sols sont aussi présents dans la partie sud-est des Landes, où la majorité des grandes cultures du département sont effectuées.

2.2.b) Evolution du climat et conséquences agronomiques

La région Nouvelle-Aquitaine est essentiellement sous l'influence d'un climat océanique, plus ou moins variable.

Le réchauffement climatique se traduit en Nouvelle-Aquitaine par une élévation de la température moyenne annuelle de $+0,3^{\circ}\text{C}$ par décennie (ORACLE, 2019). Il se traduit également par une augmentation du nombre de journées chaudes (température maximale supérieure à 25°C) : entre 1961 et 2010 ce nombre a augmenté de 4 à 5 jours sur la côte et de 6 à 8 jours à l'intérieur des terres.

Tandis que l'augmentation de température est homogène sur le territoire, l'évolution pluviométrique ne l'est pas. Dans un premier temps, outre le fait que les précipitations varient beaucoup géographiquement (figure 7), elles varient aussi entre les années, pouvant atteindre 500 mm de différence entre deux années consécutives (ORACLE, 2019). Cependant, les mois Juillet-Aout-Septembre connaissent une baisse significative des précipitations, de l'ordre de -6,5mm par décennie (ORACLE, 2019).

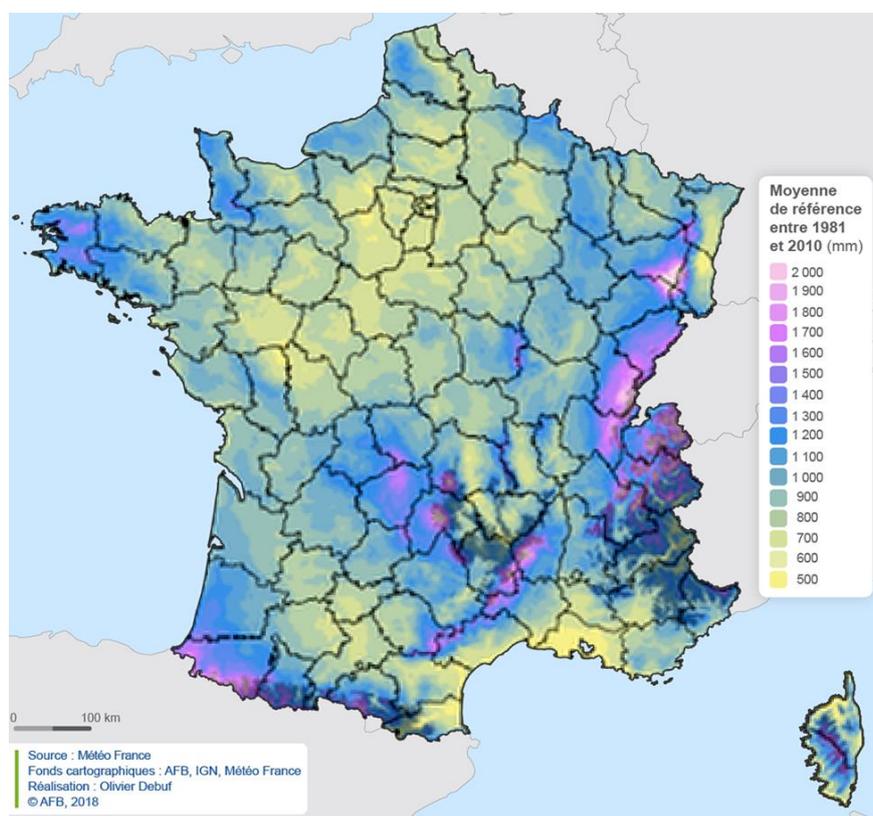


Figure 7 : Moyenne annuelle de précipitation de la période 1981-2010 (Source : Eaufrance.fr, d'après Météo-France)

La région Occitanie est soumise à trois grands climats : climat méditerranéen à l'est, climat océanique à l'ouest et climat sous influence montagnarde au niveau des Pyrénées et du Massif Central. Le bassin toulousain ainsi que la Lauragais sont influencés par ces trois grands domaines climatiques.

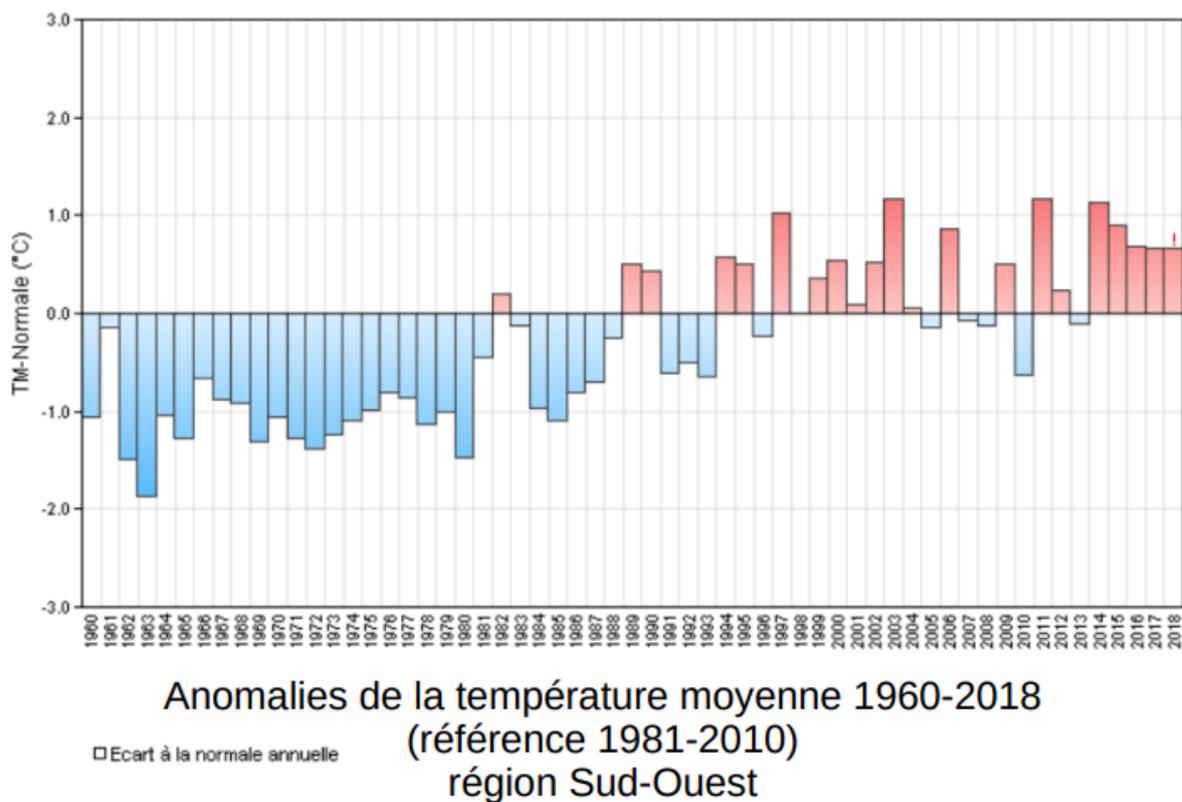


Figure 8 : Evolution des températures moyennes annuelles de 1960 à 2018 par rapport à la moyenne annuelle de la période 1981-2010 (Source : Météo-France)

Comme pour la Nouvelle-Aquitaine, la région Occitanie subit une hausse significative des températures (figure 8) : $+0,37^{\circ}\text{C}$ par décennie (Météo-France, 2018). Ce réchauffement est plus marqué pendant la saison estivale. Le nombre de journées chaudes augmente nettement sur la période 1961-2012, les tendances vont de $+5$ à $+7$ par décennie, concernant essentiellement la période estivale (Météo-France, 2018).

Quant à l'évolution de la pluviométrie, l'Occitanie se trouve dans le même cas que la Nouvelle-Aquitaine, avec une forte variabilité géographique (figure 9) et interannuelle. Ainsi, aucune tendance à la hausse ou à la baisse n'est visible concernant la pluviométrie annuelle.

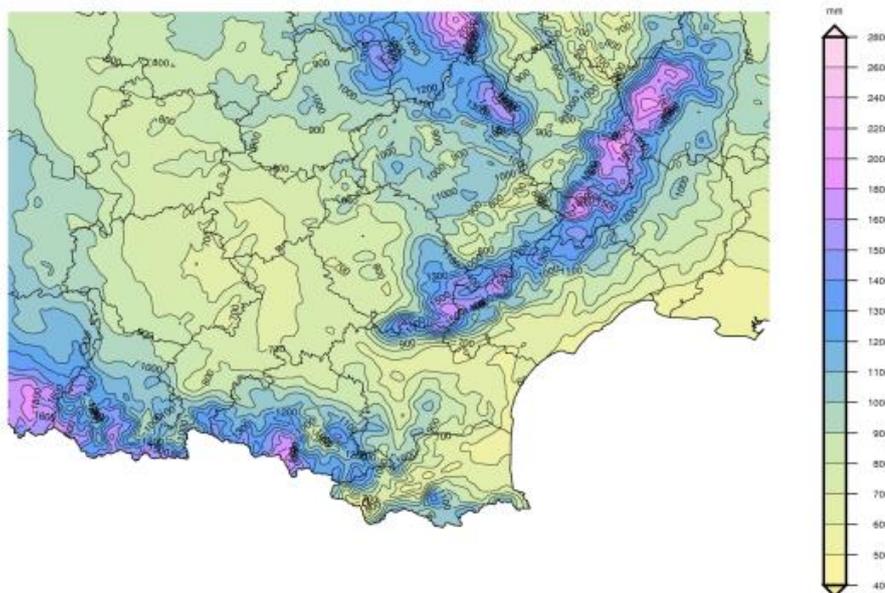


Figure 9 : Moyenne annuelle de référence 1981-2010 des précipitations (Source : Météo-France)

Une des conséquences agronomiques de ce changement climatique est l'avancement de près de deux semaines de la date de semis de différentes cultures (blé, orge d'hiver et maïs) sur une période de 30 ans (Fournier, 2009). Cela peut aussi conduire à une récolte plus précoce, et ainsi laisser une période d'interculture plus longue. La hausse générale des températures associée à cette période plus longue peut bénéficier aux cultures dérobées. En effet, les besoins en degrés-jours des différentes cultures seront atteints plus facilement, cependant, elles devront faire face à une disponibilité hydrique réduite (Brisson et Levrault, 2010.) Cette réduction de la disponibilité hydrique peut être un frein pour le développement des doubles cultures, mais qui pourrait être palier avec l'irrigation.

2.2.c) Les doubles cultures : état des lieux et perspectives

Les doubles cultures sont une démarche permettant entre autres de diversifier les productions d'une exploitation et d'accroître sa résilience. Ce qui est nommé « doubles cultures » sont en général les cultures dérobées et les cultures relais.

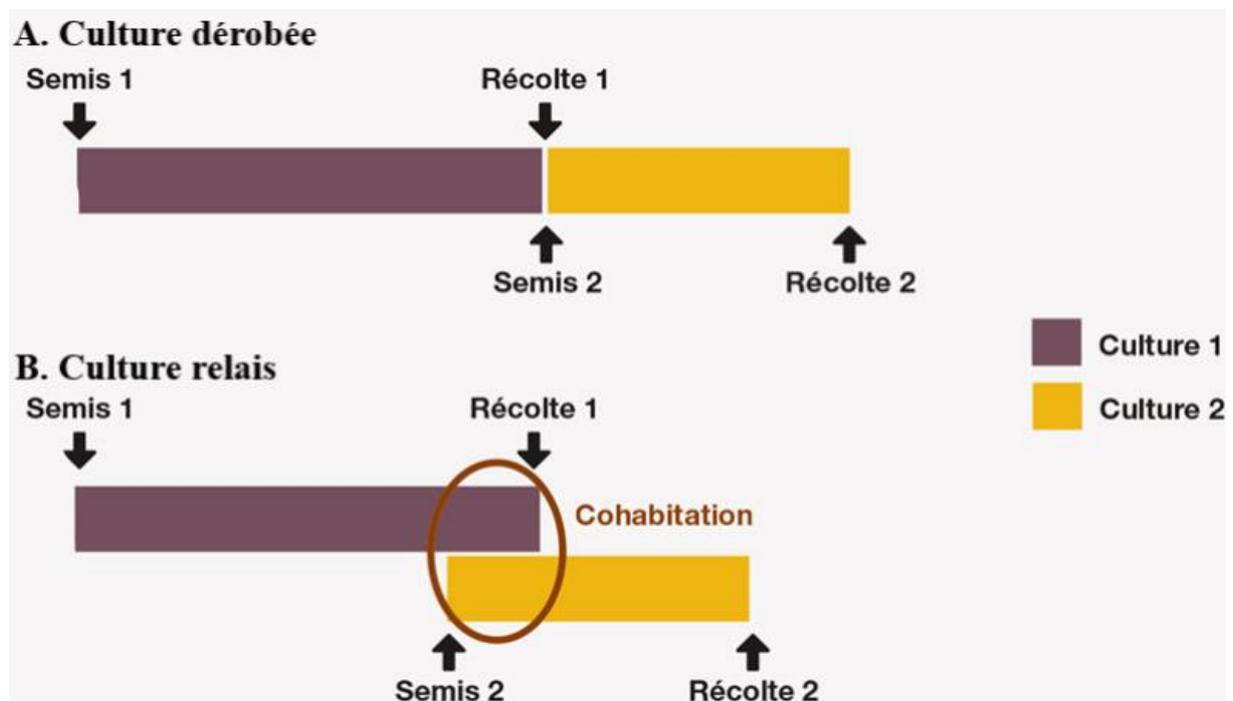


Figure 10 : Schéma représentatif d'une culture dérobée et d'une culture relais (Source : Perspective Agricole)

La culture dérobée consiste à semer une culture dont le but est la récolte après une culture de printemps, durant l'interculture estivale (figure 10). Les cultures dérobées étaient souvent pratiquées par les éleveurs pour augmenter le stock fourrager. Cette pratique s'est étendue depuis, pouvant permettre une valorisation énergétique (méthanisation), une valorisation par pâturage mais aussi une valorisation en grains. La technique de culture dérobée est présente dans le monde : au Brésil avec un maïs ou coton après un soja (Elobeid et al., 2019), en Argentine avec un soja après un blé (Calvino et al., 2009), aux Etats-Unis avec un soja après un blé (Borchers et al., 2014).

La culture relais ou « relay-cropping » est une pratique consistant à implanter une seconde culture alors qu'une autre n'a pas encore terminé son cycle, ce qui permet là aussi de récolter deux productions en un an (figure 10). Nous retrouvons également la culture relais dans le monde : aux Etats-Unis avec la culture relais blé-soja, en Chine avec la culture coton-orge (Zhang et al., 2008), en Amérique du sud (Brésil, Colombie, Amérique Centrale) avec la culture maïs-pois (Sustainable Food and Agriculture, 2019) ou encore maïs-niébé en Thaïlande et Afrique du Sud.

En France, ces techniques se développent aussi, même si les cultures dérobées sont plus répandues, quelques essais en culture relais ont été effectués.

Les espèces les plus répandues en France en culture dérobée sont : le soja, le maïs, le tournesol, le sarrasin mais il est aussi possible d'implanter du millet, du moha ou de l'orge de printemps (Callewaert, 2016 ; Ferrand, 2018). D'après la bibliographie, la réussite d'une culture dérobée dépend fortement de la date de semis, qui doit être le plus tôt possible, afin de laisser le temps à la culture de finir son cycle de développement et de récolter dans de meilleures conditions.



Figure 11 : Pénalisation du rendement de la céréale produite en première culture en culture relais par rapport à la même céréale semée classiquement. (Source : Perspectives-agricoles.com, d'après Arvalis)

Des essais se développent aussi en culture relais, que ce soient des agriculteurs ou des organismes techniques. Les principaux essais sont du soja ou du sorgho semé dans de l'orge d'hiver ou du blé tendre d'hiver (Brun et al., 2020).

En culture relais, les rendements de chaque culture sont revus à la baisse, par rapport à un semis classique. Cependant, les résultats obtenus entre ces différents essais ne sont pas équivalents (figure 11), certaines associations de relay-cropping semblent plus avantageuses que d'autres, comme le soja implanté dans de l'orge d'hiver ou le sorgho implanté dans du blé tendre d'hiver.

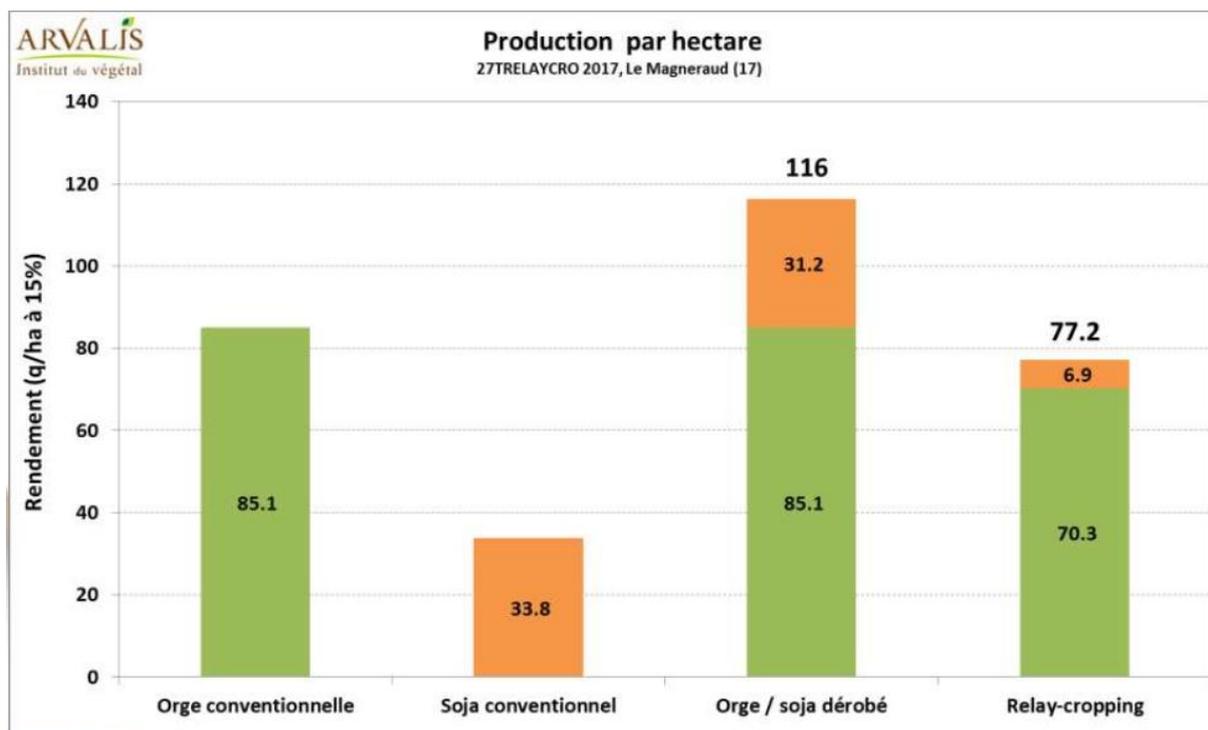


Figure 12 : Comparaison de la production par hectare du soja et de l'orge en culture relais, en culture dérobée et en conventionnel (Source : Arvalis, 2018)

Il semblerait que les résultats diffèrent entre les cultures relais et les cultures dérobées (figure 12) : la culture dérobée semble avantageuse par rapport à la culture relais. Cependant, il faut noter que la densité de semis entre ces deux pratiques sont différentes.

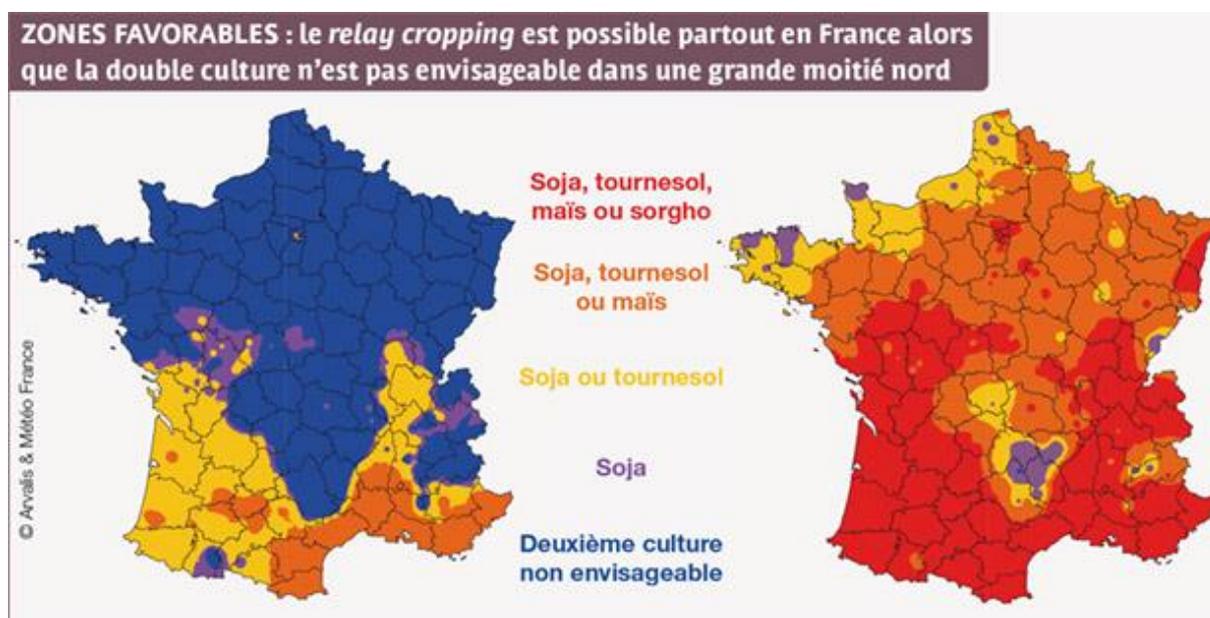


Figure 13 : Zones de culture favorables aux systèmes de culture dérobée (à gauche) et de culture relais (à droite) sur la période 1998-2018, selon les espèces envisagées, avec une probabilité de réussite de la culture de 80% (Source : Perspectives agricoles, d'après Arvalis)

De plus, il ne semble pas possible d'effectuer une culture dérobée partout en France tandis que les cultures relais semblent possibles sur tout le territoire métropolitain (figure 13). Le caractère envisageable ou non est basé sur l'offre climatique des zones étudiées.

Le développement de variétés précoces par les semenciers permet de faire plus facilement des cultures dérobées, notamment avec le large catalogue de groupe de maturité de soja.

D'après la figure 13, en Occitanie, les cultures dérobées possibles à l'est ainsi que sur la côte méditerranéenne sont le soja, le tournesol et le maïs. Dans le reste de la région, le maïs ne semble pas possible. Le soja est la seule possibilité en culture dérobée pour une partie du département des Hautes-Pyrénées. Concernant les cultures relais, il semble que le soja, le maïs le tournesol et le sorgho soient possible dans toute la région, à l'exception du nord-est des Hautes-Pyrénées, où le sorgho en culture relais ne serait pas possible.

En Nouvelle-Aquitaine, la culture dérobée n'est pas possible, ou uniquement le soja, dans les départements des Deux-Sèvres et de la Vienne. Dans le reste de la région, les cultures dérobées envisageables sont le soja et le tournesol. Concernant les cultures relais, tout comme en Occitanie, le soja, le tournesol, le maïs et le sorgho sont possibles.

III Problématiques

Dans le contexte actuel du Grand Sud-Ouest de la France, la faisabilité de produire trois cultures en deux ans se doit d'être étudiée afin de répondre à la volonté des agriculteurs d'améliorer la rentabilité et la robustesse de leurs systèmes de culture. Ainsi, nous pouvons nous demander :

Quelles sont les facteurs agronomiques et techniques influençant la réussite ou l'échec d'une double culture, et plus particulièrement pour le soja en dérobé ?

Pour répondre à cette question, les objectifs suivants ont été identifiés :

⇒ **Déterminer les doubles cultures effectuées**

Quels sont les principales successions culturales pour les cultures dérobées et associations pour les cultures en relais identifiées dans le Grand Sud-Ouest ?

⇒ **Déterminer les motivations qui ont conduit à ces pratiques**

⇒ **Identifier les freins et leviers à ces pratiques**

Quels sont les freins et leviers techniques identifiés par les agriculteurs quant à la mise en place de doubles cultures ? Quels sont les freins et leviers techniques à la réussite d'une double culture ?

⇒ **Identifier les critères agronomiques de réussite à la culture dérobée de soja**

Quels sont les besoins d'une culture de soja en dérobé ? Dans quelles mesures sont-ils satisfaits ?

IV Matériels et méthodes

4.1) Sources d'information et outils de collecte

Afin de faire un état des lieux de la situation et de mener à bien ce projet, il a fallu faire de nombreuses recherches, via différents moyens d'informations, présentés dans le tableau 1.

Tableau 1 : Informations nécessaires et sources utilisées

Informations recherchées	Sources d'informations
Contextes (réglementaire, pédoclimatique, économique, agronomique, etc.)	Bibliographie / webographie
Besoins physiologiques des cultures	Bibliographie/webographie et « personnes ressources »
Données et références techniques	Bibliographie et « personnes ressources »
Données météo	Météo France, agriculteurs, « personnes ressources »

4.1.a) Bibliographie et sitographie

Les études bibliographique et sitographique avaient pour but de récolter un maximum d'informations sur les différents contextes des régions de Nouvelle-Aquitaine et d'Occitanie : agronomiques, réglementaires, pédoclimatiques, etc.

Afin de bien cerner les besoins physiologiques des cultures, notamment du soja, un important travail de recherche a été effectué, avec des ressources françaises et internationales.

Les sources utilisées sont très diversifiées : livres, revues, communiqués techniques d'organismes agricoles et ouvrages d'agronomie (cf. annexes et bibliographie).

4.1.b) Personnes ressources

Le projet étant en partenariat avec plusieurs organismes, j'ai contacté plusieurs personnes d'organismes de recherche et techniques (INRAE, Terres Inovia, Chambres Départementales d'Agriculture), quelques personnes hors projet ont aussi pu être contactées. Ces personnes ressources ont permis de mieux cerner les problématiques liées au sujet mais aussi de répondre à des points d'interrogation auxquels les recherches bibliographiques préalables n'ont pas pu répondre.

Les principaux thèmes abordés avec ces personnes étaient essentiellement techniques : besoins physiologiques, méthodes de calculs, etc.

4.2.c) Conseillers agricoles

Les conseillers agricoles ont été contactés afin de fournir une liste de noms d'agriculteurs effectuant des doubles cultures, quand cela était possible. De plus, ils ont aussi pu fournir des avis sur le déroulé des doubles cultures en lien avec les différents essais qu'ils ont pu voir dans le cadre de leur travail.

4.2.d) Agriculteurs

Les agriculteurs enquêtés sont des agriculteurs des deux régions étudiées. L'objectif de cela était de faire un inventaire des cultures dérobées effectuées, essais non renouvelés ou

pratiques bien maîtrisées. Ces agriculteurs étaient enquêtés de deux manières différentes : via une enquête en ligne, ou une enquête directe. L'enquête directe a principalement été menée via téléphone, en raison des conditions sanitaires liées à l'année 2020.

Un des objectifs de cette enquête était de recueillir des retours d'expérience d'agriculteurs pas encore présents dans la base de données du projet. Cependant, des agriculteurs faisant parti du projet ont tout de même été interrogés via ces enquêtes car au moment de l'enquête cette information ne m'avait pas encore été transmise. Leurs profils ont quand même été conservés car au-delà des ITK, les questions concernant les freins et leviers identifiés par les agriculteurs n'avaient pas été abordées. De plus, l'échantillon recueilli étant assez faible, il n'était pas possible d'enlever des profils.

4.2) Conception des différents modes d'enquête

Afin de collecter un maximum de réponses et d'informations, sur **deux supports** différents ont été établis :

- Enquête **en ligne**
- Enquête **en direct**

Au préalable de la conception des deux enquêtes, des recherches bibliographiques ont permis d'identifier des facteurs de réussite ou d'échec potentiels pour les doubles cultures, ces critères sont visibles en annexe 1.

L'objectif d'avoir deux enquêtes était de pouvoir recueillir rapidement des retours d'expériences grâce à l'enquête en ligne, puis d'aller plus loin avec les agriculteurs acceptant une enquête plus poussée.

4.2.a) Enquête en ligne via le logiciel LimeSurvey

Les objectifs

Les objectifs de cette enquête étaient les suivants :

- Identifier les doubles cultures (relais et/ou dérobées) effectuées dans la région Grand Sud-Ouest
- Identifier les motivations liées à la volonté de faire trois cultures en deux ans
- Identifier les principaux facteurs de réussite et d'échec à ces pratiques
- Diffusion large et rapide : privilégier de recueillir un maximum d'informations en touchant un maximum d'agriculteurs

Elaboration de l'enquête

Afin de concevoir l'enquête de manière la plus complète possible, il a été établi un schéma de décision (figure 14), permettant d'établir des blocs de questions (annexe 2), correspondants chacun à des profils différents.

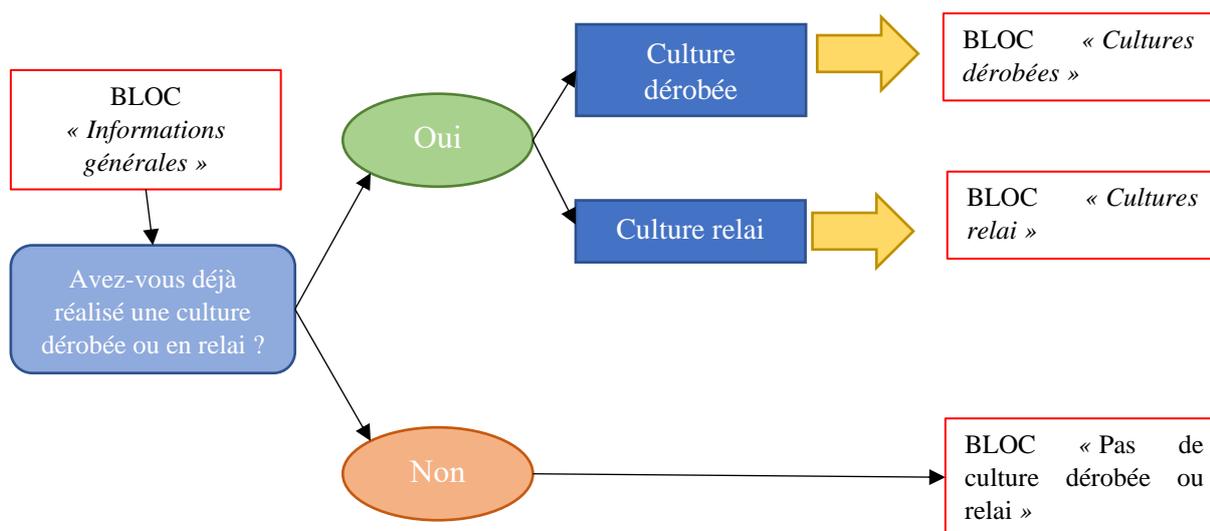


Figure 14 : Schéma de l'enquête soumise aux agriculteurs

Afin de récolter toutes les informations nécessaires, nous avons utilisé le Logiciel LimeSurvey.

Communication de l'enquête

Afin de viser un maximum d'agriculteurs, nous avons envoyé ce questionnaire par mail aux chambres départementales d'agriculture de Nouvelle-Aquitaine et d'Occitanie.

En plus de la diffusion par mail via les conseillers agricoles, nous avons fait un article de communication sur le site internet de la CRAO, relayé notamment par la page Facebook de la chambre, mais aussi par la newsletter capitalisation à destination des animateurs de groupes 30 000 et GIEE (Groupement d'Intérêt Economique et Environnemental).

4.2.b) Enquête « directe »

Les objectifs

Les objectifs de cette enquête étaient les mêmes que pour l'enquête en ligne, mais avec en plus la volonté de récolter des données et des itinéraires techniques précis pour les doubles cultures identifiées. Les itinéraires techniques en soja dérobé devaient servir à la conception de règles de décision dans le cadre de la conception d'un arbre de décision pour l'estimation du rendement.

Elaboration de l'enquête

Comme pour l'enquête en ligne, l'enquête en direct a été construite en différents blocs : un bloc itinéraire technique de culture dérobée, un bloc itinéraire technique de culture relais. En plus des questions techniques, les mêmes questions sur les motivations, freins et leviers des différentes cultures ont été demandées.

Pour les cultures de soja, des questions spécifiques ont été rajoutées : inoculation, méthode de récolte, freins et/ou leviers spécifiques à la culture dérobée de soja.

Communication de l'enquête

La communication autour de cette enquête s'est faite principalement via les conseillers agricoles. Certains agriculteurs enquêtés en ligne ont fait l'objet d'une enquête en direct, s'ils avaient donné leur accord.

4.3) Evaluation des profils

Au sein du territoire d'étude, nous avons pu rencontrer plusieurs contextes pédoclimatiques, agronomiques et techniques différents. Ainsi, nous avons choisi de faire une évaluation sur les profils les plus rencontrés et semblants pertinents aux vues des contextes rencontrés. La pratique d'implanter une culture fourragère en dérobé n'est pas étudiée ici car nous nous intéressons principalement aux cultures graines.

4.3.a) Synthèse des itinéraires techniques recueillis

Les itinéraires techniques des agriculteurs ont été regroupés dans un tableau récapitulatif des données clés acquises nécessaires à l'évaluation agronomique des pratiques. Certaines des informations données par les agriculteurs ont dû être interprétées pour pouvoir comparer les données entre elles. Les itinéraires techniques ont ensuite été analysés qualitativement afin d'identifier les situations les plus fréquemment rencontrées ainsi que des points clés non identifiés lors des recherches bibliographiques.

4.3.b) Synthèse des réponses de l'enquête en ligne

Les réponses des agriculteurs à l'enquête en ligne ont d'abord été synthétisées dans un tableau regroupant les principales données permettant d'identifier les doubles cultures effectuées, les motivations et les freins et leviers à ces pratiques.

L'analyse des données a consisté à savoir dans un premier temps si certaines cultures étaient concentrées dans certaines zones pédoclimatiques. Dans un second temps, il s'agissait d'identifier si des pratiques culturales ou modes de production se retrouvaient plus que d'autres dans les réponses. Enfin, l'analyse des freins et leviers a consisté à calculer la fréquence de retour des différents points identifiés.

4.3.c) Etude climatique

Afin de pouvoir évaluer le potentiel des doubles cultures, il est nécessaire d'étudier le critère météorologique des zones correspondant aux agriculteurs ayant établi de telles pratiques.

Les données météorologiques collectées sont celles correspondant aux conditions climatiques et géographiques des expériences recensées. Ces données ont été acquises via les Chambres d'Agriculture correspondantes.

Nous faisons actuellement face au changement climatique, ainsi nous avons décidé de mener notre étude climatique à partir du début des années 2000. Ces 15/20 dernières années nous constatons de fortes augmentations des températures et une variation accrue de la pluviométrie ; ainsi, nous avons souhaité comparer ces dernières années avec la moyenne depuis 1985. Cette comparaison avait pour objectif de voir si la tendance de l'évolution du climat est en faveur du développement des doubles cultures, notamment du soja.

Cependant, toutes les données des stations recherchées n'ont pas été communiquées à temps, ainsi, il n'a été possible de faire cette étude qu'au niveau de deux stations : Auch (Gers) et Montauban (Tarn-et-Garonne). Ainsi, cette étude climatique ne représente pas la situation de toute la zone géographique étudiée. Elle nous permettra tout de même d'appréhender une tendance concernant les différents facteurs étudiés : les températures et la pluviométrie.

4.4) Etablissement de règles de décision pour la construction d'un arbre d'estimation de rendement pour le soja dérobé

4.4.a) Critères de réussite

Pour établir un arbre d'estimation de la réussite de la culture dérobée en soja, deux critères physiologiques principaux ressortent de la bibliographie et des entretiens avec les agriculteurs.

Critère thermique

Le cumul de degrés jours (DJ) est un critère essentiel pour la réussite d'une culture. En effet, pour pouvoir terminer son cycle, plus précisément, pour passer d'un stade physiologique à un autre, une plante a besoin d'un nombre de DJ minimal.

Les besoins en DJ pour chaque stade phénologique ont très peu été étudiés, en particulier pour le soja. Les références sur le soja dérobé n'existant pas, il a fallu faire une estimation des besoins en température pour cette culture à partir des résultats d'essais en stations expérimentales. Pour chaque essai il y avait trois dates de semis, pour chacune d'entre elles quatre variétés étaient testées. Les variétés utilisées sont regroupées dans le tableau 2.

Tableau 2 : Récapitulatif des variétés étudiées dans les essais et leur groupe de maturité

Variété	Groupe de maturité
Siverka	000
Obelix	000
ES Mentor	00
Angelica	00
RGT Speeda	0
ES Pallador	I

Toutefois, il est nécessaire de prendre en compte le fait que ces résultats permettent seulement de dégager des tendances car ces calculs ont été effectués sur trois essais (tableau 3), deux sites différents, dans le Béarn et dans le Lauragais (sud-est de Toulouse) et sur deux années (2019 et 2020). De plus, les stades identifiés n'étaient pas les mêmes entre les deux sites (tableau 3). De plus, dans cette étude, seules les groupes de maturité ont été étudiés, pas les variétés car elles n'étaient que six et toutes n'ont pas été utilisées à chaque date de semis dans les essais.

Tableau 3 : Localisation des stations expérimentales et années des essais utilisés

Localisation	Année disponible	Stades physiologiques disponibles
Béarn	2019	Levée / Floraison / R6/R8(*) <i>(*) R8 correspond à la maturité physiologique</i>
	2020	Levée / Floraison / R6 / R8
Lauragais	2020	Levée / Floraison / R6

La première méthode de calcul envisagée fut la méthode dite « linéaire » (figure 15), qui ne prend en compte uniquement la température seuil minimale, en dessous de laquelle le développement ne peut se faire, et la température moyenne journalière.

$$\sum_i \left[\frac{T_{min,i} + T_{max,i}}{2} - T_{min,cult} \right]$$

$T_{min,i}$: Température minimale de la journée i (°C)

$T_{max,i}$: Température maximale de la journée i (°C)

$T_{min,cult}$: Température minimale en dessous de laquelle la culture ne se développe plus (°C)

Figure 15 : Méthode de calcul linéaire des besoins en degrés-jours

Une autre méthode de calcul lui a été préférée car, les cultures dérobées se développant durant la période estivale, les températures atteintes peuvent conduire à une réduction voire un arrêt du développement. Ainsi, il a fallu utiliser une méthode de calcul prenant en compte non seulement les températures journalières et la température seuil minimale, mais aussi une température maximale, correspondant à un développement maximal de la culture, et une température seuil critique, correspondant à l'arrêt voire la sénescence de la culture.

La méthode de calcul utilisée correspond à « la méthode triangulaire », dont les équations sont présentées dans la figure 16. Cette méthode est issue de l'ouvrage *Conceptual basis, formulations and parameterization of the STICS crop model* (Brisson et al., 2008)

$$\begin{aligned}
 & \text{Si } T_{moy,j} \leq T_{min,cult} \text{ alors } T_{eff} = 0 \\
 & \text{Si } T_{min,cult} < T_{moy,j} < T_{max,cult} \text{ alors } T_{eff} = T_{moy,j} - T_{min,cult} \\
 & \text{Si } T_{max,cult} \leq T_{moy,j} < T_{crit,cult} \text{ alors } T_{eff} = \frac{T_{max,cult} - T_{min,cult}}{T_{max,cult} - T_{crit,cult}} (T_{moy,j} - T_{crit,cult}) \\
 & \text{Si } T_{moy,j} \geq T_{crit,cult} \text{ alors } T_{eff} = 0
 \end{aligned}$$

$T_{moy,j}$: Température moyenne journalière (°C)
 T_{eff} : Température effective pour le développement de la culture concernée (°C.j)
 $T_{min,cult}$: Température minimale en dessous de laquelle la culture ne se développe plus (°C)
 $T_{max,cult}$: Température seuil avec le développement maximal (°C)
 $T_{crit,cult}$: Température critique, initiant la sénescence (°C)

Figure 16 : Méthode triangulaire de calcul de température effective pour le développement d'une culture (Source : d'après le modèle STICS)

Les différentes valeurs utilisées pour le calcul des besoins en degrés-jours sont présentées dans le tableau 4. Les températures seuils sont basées sur la bibliographie.

Tableau 4 : Valeurs des différentes températures utilisées pour les calculs de degrés-jours

Température	Valeur attribuée
$T_{moy,j}$	Différence entre la température maximale journalière et la température minimale journalière
$T_{min,cult}$	6°C
$T_{max,cult}$	30°C
$T_{crit,cult}$	40°C

Cependant, d'après la bibliographie et les retours d'expériences d'agriculteurs, la température maximale journalière peut influencer sur le développement d'une culture. Ainsi, il a été décidé de rajouter une condition au calcul des degré-jours : si la température maximale journalière dépasse 30°C, celle-ci est ramenée à 30°C dans le calcul de la température effective. En effet, une température supérieure à cette dernière peut induire un stress thermique chez le soja (Lindey, 2012).

Afin de reconstruire le cycle du soja, ces calculs ont été effectués entre les stades suivants :

- Levée – floraison
- Floraison – R8 (maturité physiologique)

Pour le calcul des besoins en DJ entre la **levée** et la **floraison**, les trois essais ont été utilisés, car les dates des stades étaient connues. Cependant, la date du stade R8 n'était disponible que pour 2 essais sur 3. Ainsi, il a été décidé de recalculer une date « théorique » du stade R8 pour

la station manquante, afin d'estimer si les résultats obtenus avec la première station permettaient d'aboutir à des estimations cohérentes en termes de DJ et de groupes de maturité.

En plus de ces calculs, il a été cherché une relation entre la somme en DJ et le temps de levée du soja, ainsi qu'entre la somme en DJ et le temps de séchage (R8-récolte).

Pour le temps entre le semis et la levée, en plus d'une recherche de différence entre les groupes de maturité, il a été recherché s'il y avait une différence en termes de PMG (Poids de Mille Graines) pour la durée de levée.

Il a été décidé d'établir un « forfait » de DJ entre le stade R8 et la récolte si aucune différence entre les groupes de maturité n'était établie. Cette estimation entre le stade R8 et la récolte ne s'est faite que sur les données pour lesquelles les taux d'humidité à la récolte étaient compris entre 14% et 16%, fourchette optimale de récolte du soja (Terres Inovia, 2019). Le besoin en DJ du groupe de maturité 0 n'a pas pu être estimé, car le taux d'humidité lors de la récolte était trop élevé.

Ces deux derniers calculs sont discutés dans la partie VI.

Critère de l'eau

L'eau est un critère essentiel pour la réussite d'une culture, surtout en période estivale. Ainsi, un stress hydrique subi par la plante peu impacter le rendement de la culture, ou même conduire à son échec. D'après les agriculteurs et la bibliographie, certaines périodes de développement sont plus sensibles que d'autres au stress hydrique (*cf. partie 5.3.b*), ayant un impact plus ou moins fort dans la baisse de rendement.

Outre le critère de besoin en eau du soja, la pluviométrie en fin de cycle est aussi un critère essentiel dans la réussite d'une culture. En effet, le taux d'humidité lors de la récolte dépend aussi de la météo lors des jours précédents la récolte.

Les règles de décision pour la construction de l'arbre doivent donc prendre en compte le critère de l'eau et de la température pour estimer la réussite ou l'échec de la culture.

4.4.b) Choix des indicateurs

Les indicateurs choisis découlent des critères cités précédemment. Ces indicateurs ont permis d'établir des règles de décision. Ces indicateurs sont résumés dans le tableau 5.

Tableau 5 : Critères de décision à la réussite du soja en dérobé

Critères	Indicateurs
Précipitation	- Cumul de précipitation du semis à la maturité/récolte - Pluviométrie après maturité
Température	- Cumul des DJ entre chaque stade

La figure 17 présente la position des indicateurs étudiés dans le cycle cultural du soja.

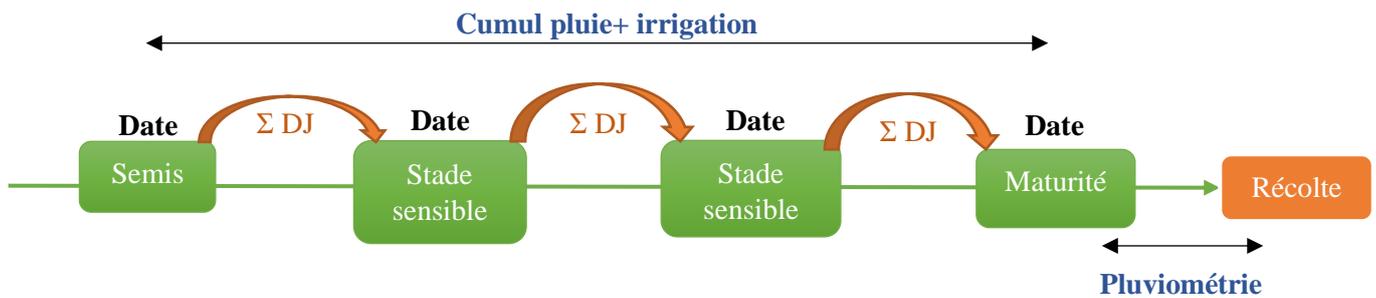


Figure 17 : Position des indicateurs de réussite dans le cycle de développement du soja

Les stades de sensibilité au manque d'eau ont été établis grâce à la bibliographie et aux expériences rapportées par les agriculteurs ayant effectué du soja en dérobé.

La date des différents stades de développement a été estimée sur la base des données récoltées et des climats correspondants.

Le cumul des pluies et de l'irrigation a été calculé du semis à la maturité.

4.4.d) Calcul de la fréquence de réussite des critères établis

Le calcul des fréquences de réussite des critères cités ci-dessus s'est fait à l'aide de trois stations météo : Auch (Gers) et Montauban (Tarn-et-Garonne). Cette fréquence de réussite est calculée de l'année 2006 à l'année 2020 pour Auch et de 2004 à 2020 pour Montauban.

Une année est considérée comme « réussite » si la pluviométrie entre le 20 juin (date de semis estimée) et le 10 octobre (date estimée de maturité physiologique) est supérieure à 200 mm. Il est cependant important de préciser que beaucoup d'agriculteurs conduisent le soja dérobé en irrigation, ce qui peut « sauver » une année pour laquelle la pluviométrie n'aurait pas été suffisante.

Concernant les DJ, une année de « réussite » est une année ayant plus de DJ disponibles que ceux dont a besoin le soja dérobé pour se développer, cette estimation s'est aussi faite du 20 juin au 10 octobre.

V_ Résultats

5.1) Présentation des échantillons

5.1.a) Cartographie des réponses à l'enquête en ligne

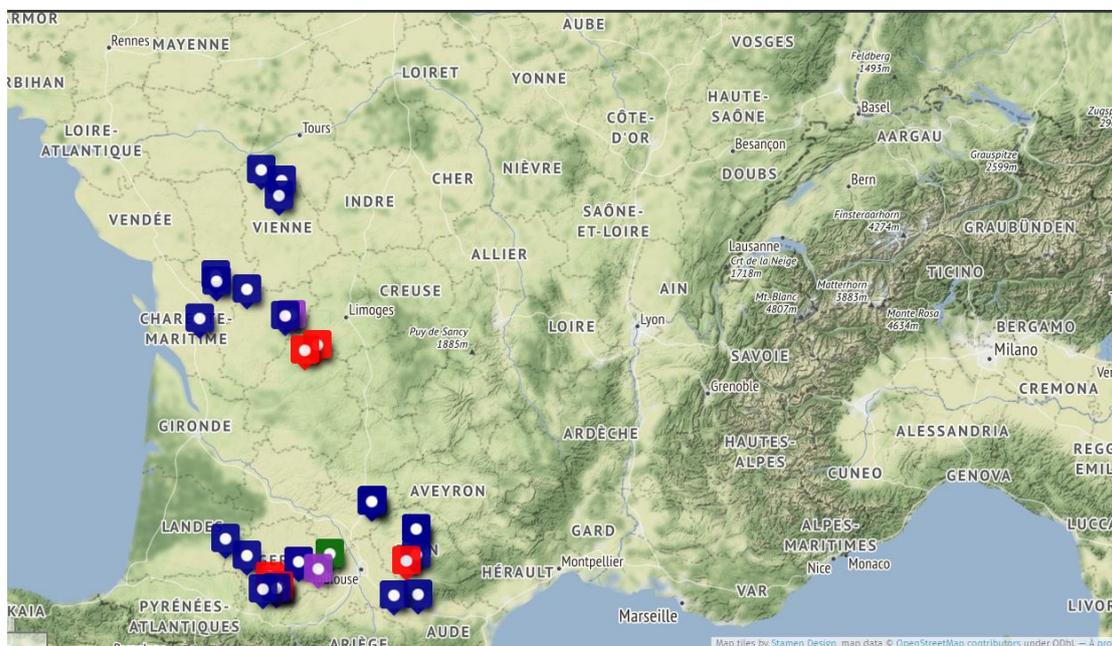


Figure 18 : Carte présentant la localisation des différents agriculteurs ayant répondu à l'enquête en ligne (Carré bleu : cultures dérobées ; carré vert : culture relais ; carré violet : les deux ; carré rouge : aucune)

Durant la période du 16 novembre 2020 au 29 janvier 2021, il y a eu vingt-neuf réponses complètes à l'enquête en ligne. La localisation des exploitations enquêtées est présentée dans la figure 18. Dans la région Nouvelle-Aquitaine, onze agriculteurs ont répondu à l'enquête ; la région Occitanie en décompte dix-huit, dont trois qui n'ont jamais effectué de double culture.

Dans la région Occitanie, parmi ceux ayant déjà effectué une double culture, sept se situent dans la partie à l'Ouest de Toulouse (Gers et Hautes-Pyrénées), cinq dans la partie Est (Aude et Tarn) et un au Nord de Toulouse (Tarn-Et-Garonne).

Dans la région Nouvelle-Aquitaine, les exploitations ayant répondu à l'enquête se situent dans la partie Nord de la région : trois dans la Vienne, trois en Charente, trois en Charente-Maritime.

5.1.b) Cartographie des réponses à l'enquête directe

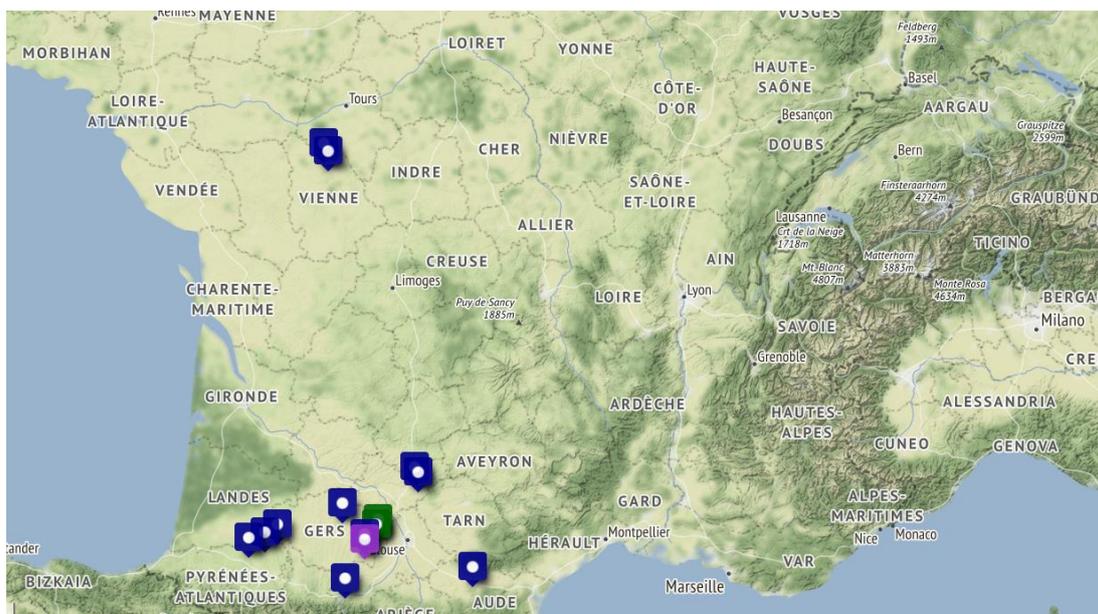


Figure 19 : Carte présentant la localisation des agriculteurs ayant été enquêtés en direct (Carré bleu : cultures dérochées ; carré vert : culture relais ; carré violet : les deux)

Durant la même période d'enquête, il y a eu quatorze enquêtes directes menées auprès d'agriculteurs des deux régions. La localisation de ces derniers est présentée dans la figure 19. Dans la région Nouvelle-Aquitaine nous retrouvons seize agriculteurs : deux dans la Vienne et trois dans les Pyrénées-Atlantiques. Dans la région Occitanie, neuf agriculteurs ont répondu à l'enquête : quatre dans le Gers ; deux dans le Tarn-Et-Garonne, un en Haute-Garonne et un dans l'Aude.

5.1.c) Identification des profils

➤ Type de doubles cultures

Pour l'enquête en ligne comme pour l'enquête en direct, il est remarquable que les cultures dérochées sont largement plus présentes que les cultures relais. Dans la figure 18 (enquête en ligne) nous voyons qu'il y a trois agriculteurs ayant effectués cultures dérochées et relais (figures violettes) et un ayant effectué uniquement des cultures en relai, le reste des enquêtés faisant des cultures dérochées. Dans la figure 19 (enquête directe), nous pouvons voir que la tendance reste la même : un agriculteur a effectué des cultures dérochées et des cultures relais, et deux agriculteurs ont effectué uniquement des cultures relais.

➤ Cultures effectuées

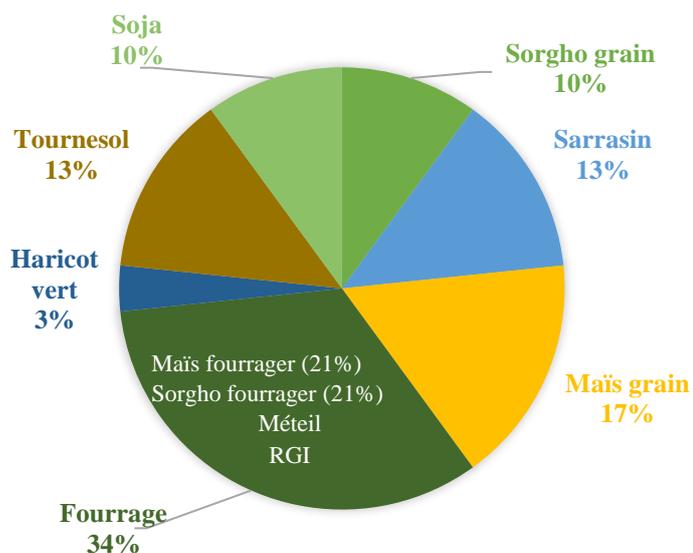


Figure 21 : Cultures dérobées effectuées par les agriculteurs enquêtés en ligne

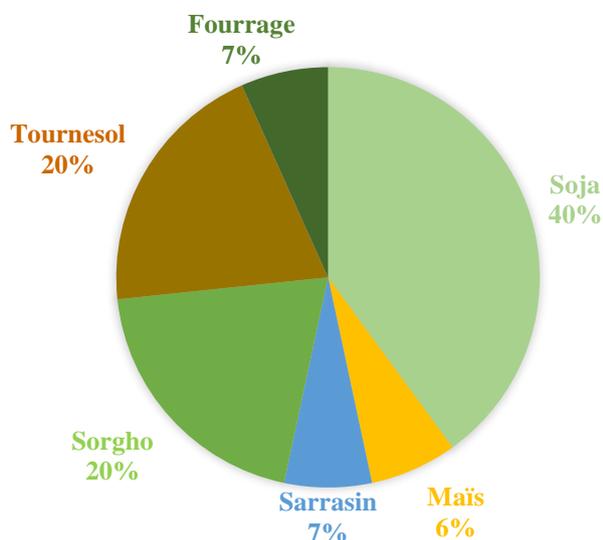


Figure 20 : Cultures dérobées effectuées par les agriculteurs enquêtés en direct

Les figures 20 et 21 présentent les différentes cultures dérobées effectuées par les agriculteurs ayant respectivement répondu à l'enquête en direct et à l'enquête en ligne.

Ainsi, les principales cultures menées en dérobées sont : le soja (*Glycine max*), le tournesol (*Helianthus annuus*), le maïs (*Zea mays*), le sorgho (*Sorghum bicolor*) et le sarrasin (*Fagopyrum esculentum*).

Concernant les cultures relais grains, celles qui ont été mises en place par les agriculteurs enquêtés sont : blé-soja, blé-sorgho.

➤ Pratiques culturales

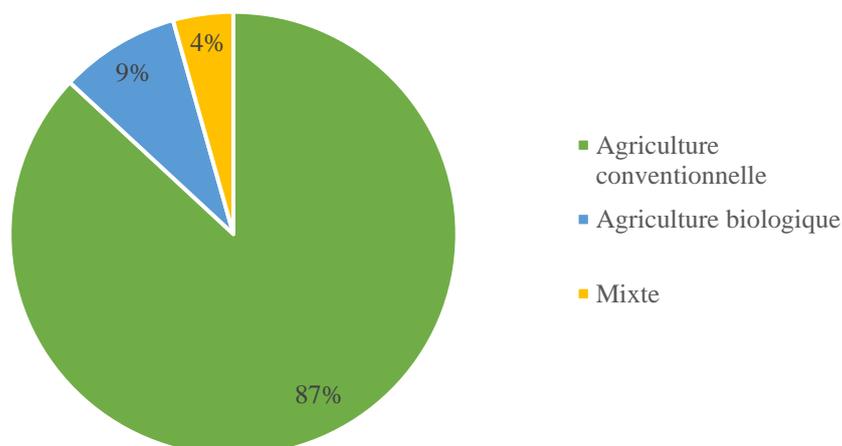


Figure 22 : Mode de production des agriculteurs enquêtés via internet

Concernant les agriculteurs enquêtés en ligne pratiquant les doubles cultures, vingt sur vingt-trois sont en agriculture conventionnelle, deux en agriculture biologique et quatre en mixte (figure 22). Les quatorze agriculteurs enquêtés en direct sont quant à eux en conventionnel.

Les figures 23 et 24 présentent la part des différentes pratiques agricoles des agriculteurs respectivement enquêtés en ligne et en direct.

■ Labour systématique ■ Labour occasionnel ■ TCS ■ ACS

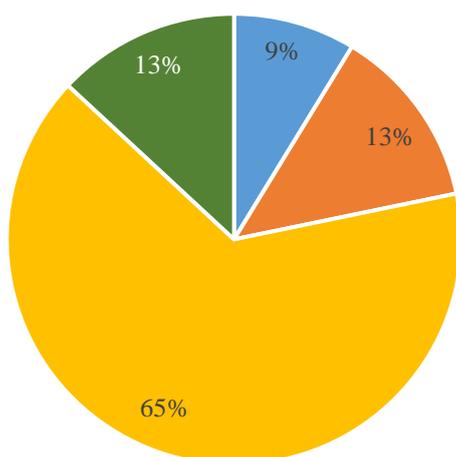


Figure 23 : Pratiques de travail du sol des agriculteurs enquêtés en ligne

■ Labour occasionnel ■ TCS ■ ACS

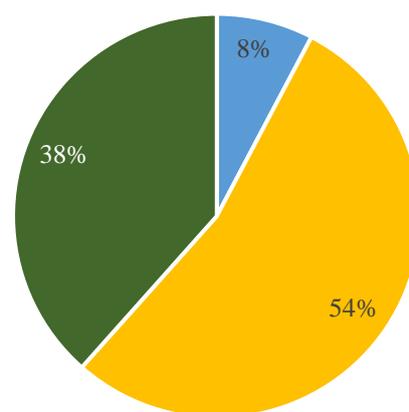


Figure 24 : Pratiques de travail du sol des agriculteurs enquêtés en direct

Les deux tendances qui se dégagent est la pratique des TCS (Techniques Culturelles Simplifiées) et de l'ACS (Agriculture de Conservation des Sols) par les deux catégories d'agriculteurs. Le labour systématique n'est quasiment pas pratiqué, uniquement par deux agriculteurs ayant répondu à l'enquête en ligne. Certains agriculteurs pratiquent le labour occasionnellement.

5.2) Identification des principaux leviers et freins à la mise en place de doubles cultures

5.2.a) Motivations à la mise en place de doubles cultures

Les deux principales motivations à la mise en place de doubles cultures (que cela soit cultures dérobées ou cultures relais) sont : motivation économique et motivation agronomique. Les figures 25 et 26 présentent les réponses des agriculteurs ayant répondu respectivement aux enquêtes en ligne et en direct.

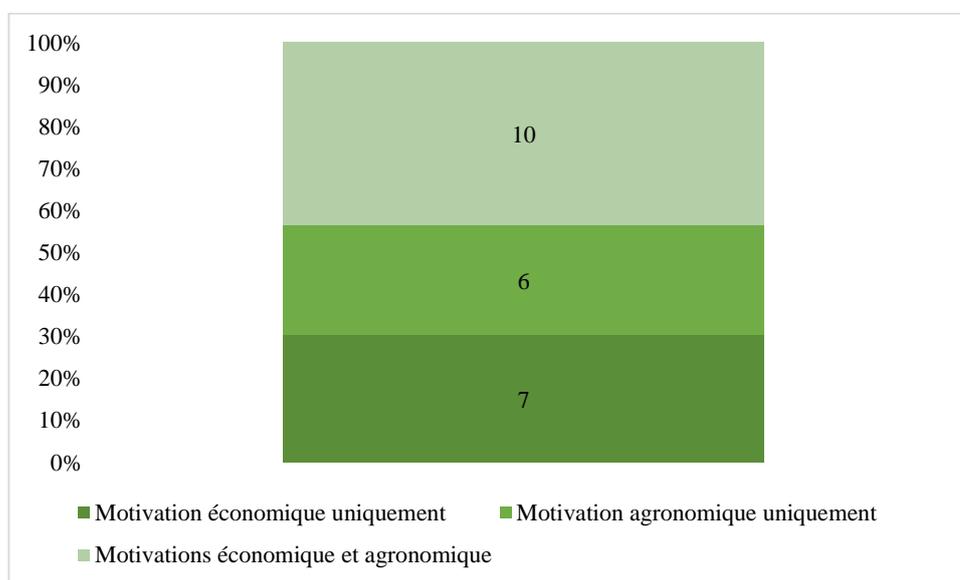


Figure 25 : Les motivations à la mise en place de doubles cultures chez les agriculteurs enquêtés en ligne

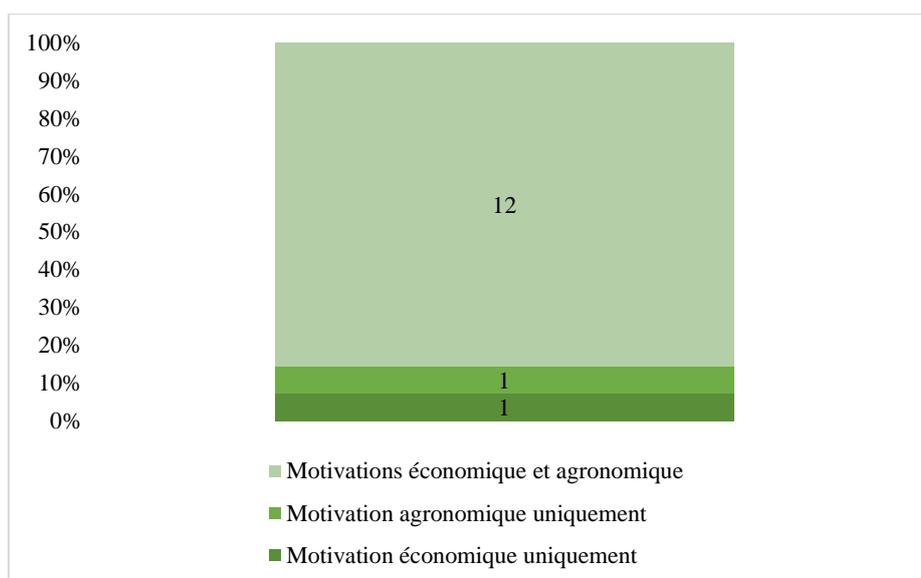


Figure 26 : Les motivations à la mise en place de doubles cultures chez les agriculteurs enquêtés en direct

La motivation économique se traduit par une volonté d'accroître le revenu par hectare, ou de sécuriser financièrement les cultures : si le résultat d'une culture n'est pas satisfaisant, la culture dérobée peut compenser les éventuelles pertes liées à cet échec. Cette motivation économique se traduit également par une volonté de valoriser les couverts végétaux, obligatoires dans certaines zones agricoles.

La motivation agronomique se traduit quant à elle par une volonté de couvrir le sol pendant une interculture plus ou moins longue ou par une volonté de diversifier une rotation culturale trop simple.

5.2.b) Freins à la mise en place et au développement des doubles cultures

Les enquêtes menées ont permis de mettre en évidence des facteurs d'échec de la mise en place de doubles cultures.

Freins à la mise en œuvre de doubles cultures

Six des agriculteurs enquêtés n'ont jamais mis en place de cultures dérobées ou cultures en relai.

A l'issue de ces enquêtes, il a été possible d'identifier les principaux freins ressentis par les agriculteurs :

- **Techniques chronophages** : trois agriculteurs sur six considèrent que ces techniques sont trop exigeantes en temps, notamment au début de l'été, période durant laquelle ils doivent moissonner, récolter la paille si nécessaire, faucher les prairies s'il y a, etc.
- **Matériel non adapté** : deux agriculteurs sur six considèrent que le matériel disponible est un frein majeur à la mise en place de doubles cultures. Cela peut s'expliquer pour deux raisons : (i) pour la mise en place de cultures en relai le matériel utilisé doit être compatible avec la technique ; (ii) certains agriculteurs font appel à des entrepreneurs pour le semis et/ou la récolte des cultures, ainsi la disponibilité du matériel et/ou du personnel n'est pas assurée durant la période estivale, période de forte activité agricole.

- **Irrigation non disponible** : la période estivale étant une période relativement pauvre en précipitation, les cultures se développant durant cette période peuvent nécessiter une irrigation. Trois agriculteurs sur six considèrent le manque d'irrigation comme un frein à la mise en place de doubles cultures.
- **Gestion des adventices en agriculture biologique** : un agriculteur enquêté en direct a confié la difficile gestion des adventices, notamment des repousses, en agriculture biologique.
- **Volonté de garder les couverts végétaux** : trois agriculteurs sur six ont évoqué la volonté de garder les couverts végétaux pour (i) l'apport de matière organique (ii) déstocker les graines d'adventices.

Freins rencontrés par les agriculteurs ayant mis en place des cultures relais

Les enquêtes ont permis d'identifier de nombreux freins à la mise en place des cultures relais. Ces freins ont été regroupés en trois catégories, présentés dans le tableau 6.

Tableau 6 : Tableau des principaux freins identifiés à la mise en place de cultures relais

Freins techniques	Freins agronomiques	Freins phytosanitaires
Matériel	Stress hydrique	Produits phytosanitaires homologués
Dates de semis	Concurrence pour la lumière	Rémanence
	Adventices	
	Conditions de récolte	

Le principal frein technique concerne le **matériel**. En effet, il est nécessaire de prendre en compte la largeur des pneumatiques du semoir de la culture d'été, la largeur de l'élément semeur, écartement entre les éléments semeurs et largeur des pneumatiques de la moissonneuse-batteuse lors de la récolte de la première culture. Pour certains agriculteurs, le coût/investissement que cette technique demande (système de guidage, modification de la barre de coupe) est trop élevé pour une technique encore « trop incertaine en France ».

Concernant la **date de semis** de la seconde culture, il semble difficile de trouver une bonne fourchette de temps. Un semis trop tôt entraînerait une compétition trop importante nuisant alors au développement à l'une et/ou l'autre des cultures ; tandis qu'un semis trop tard entraînerait un développement accru des adventices et une diminution de la réussite de la seconde culture.

Les freins agronomiques principaux résident dans les **besoins en eau** et la **gestion des adventices**. D'après un agriculteur, même en ayant l'irrigation, il faisait face à un stress hydrique : irriguer avant la récolte de la première culture (avant maturité) entraînerait un stress hydrique de la seconde culture, car l'eau est en majorité consommée par la première culture ; irriguer après la récolte de la première culture entraînerait un développement accru des adventices. Pour le soja, toujours selon cet agriculteur, le meilleur moment pour irriguer serait quand le blé arrive à maturité, cependant cela altérerait la qualité du blé.

En conduite en sec, les demandes en eau des deux cultures semblent trop importantes pour réaliser de bons rendements.

La présence de deux cultures à des stades différents débouche sur une **concurrence pour la lumière**, souvent défavorable à la seconde culture. Cette concurrence doit entrer en compte lors de la réflexion de la gestion des résidus de la première culture, car ils peuvent gêner le développement de la seconde.

La **gestion des adventices** est aussi une difficulté à laquelle doivent faire face les agriculteurs : le désherbage est un frein à la fois agronomique et phytosanitaire. En effet, peu de produits peuvent être utilisés sur les deux cultures et même si un désherbage est effectué à l'automne, il peut avoir rémanence des produits, impactant ainsi la seconde culture.

Les **conditions de récolte** sont aussi un facteur clé dans la gestion des cultures relais : la récolte de la première culture ne doit pas trop impacter la seconde culture (passage des roues, barre de coupe) ; la récolte de la seconde culture dépend du facteur météorologique, il n'est pas rare que la récolte soit abandonnée en raison de mauvaises conditions météorologiques.

Freins rencontrés par les agriculteurs ayant mis en place des cultures dérobées

Le tableau 7 résume les principaux freins identifiés au bon déroulement d'une culture dérobée.

Tableau 7 : Principaux freins identifiés à la réussite de cultures dérobées

Facteurs météorologiques	Facteurs agronomiques	Autres
Pluviométrie trop faible	Gestion des adventices	Non anticipation
Température trop élevée	Rémanence de produits phytosanitaires	
Météo lors de la récolte		

Parmi les vingt-trois agriculteurs interrogés via l'enquête en ligne qui ont effectué des cultures dérobées, seize ont pu faire face à des difficultés. La figure 27 présente les différents facteurs d'échec identifiés, ainsi que le nombre de réponses associées.

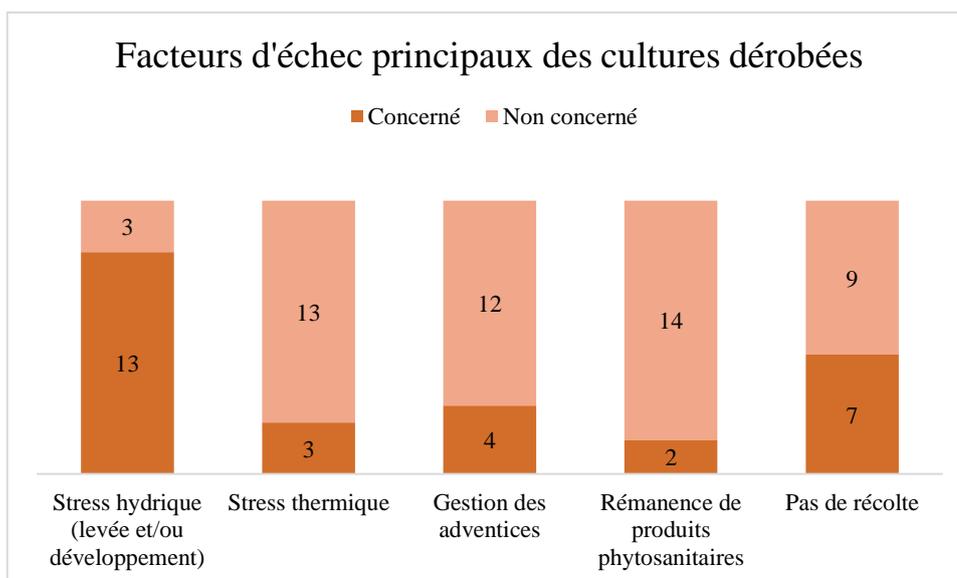


Figure 27 : Les principaux facteurs d'échec des cultures dérobées selon les agriculteurs enquêtés en ligne

Le premier facteur d'échec identifié par la majorité des agriculteurs est le **stress hydrique**, en phase de levée ou de développement. Comme évoqué précédemment, la période d'implantation des cultures dérobées est soumise à de fortes températures et une pluviométrie limitée, ce qui favorise le stress hydrique et une mauvaise récolte. Le **stress thermique** identifié par trois agriculteurs est également lié avec la période estivale : en effet, certaines cultures sont sensibles à de fortes températures, qui peuvent impacter le rendement en raison de « coulure » de fleurs lors de la période de floraison.

La **gestion des adventices** est un frein pour un quart des agriculteurs, en effet, les repousses de la culture précédente peuvent empêcher le bon développement de la culture dérobée si elles ne sont pas contrôlées à temps.

Deux agriculteurs évoquent des problèmes de **rémanence de produits phytosanitaires**. En effet, certains désherbants peuvent entraîner des problèmes de phytotoxicité si la succession n'est pas anticipée sur ce point-là. Cette rémanence peut s'observer sur le sorgho ou le maïs en dérobé après céréales (terre-net.fr, 2011).

A la fin du cycle, le risque le plus important est le fait de ne **pas pouvoir récolter**. Cela est lié à plusieurs facteurs : stress hydrique trop important au préalable, parcelles trop sales ou condition **météo défavorable au moment de la récolte**. Les deux premiers facteurs ont été évoqués plus haut, concernant la météo, une trop forte humidité et pluviométrie au moment de la récolte, généralement au mois d'octobre, peut empêcher la récolte. Cet aléa météorologique peut avoir plusieurs conséquences : (i) la culture n'arrive pas à maturité, (ii) l'humidité des grains est trop élevée et (iii) la récolte n'est pas possible car le tracteur ne peut pas rentrer au champ.

5.2.c) Leviers à la mise en place et au développement des doubles cultures

Leviers identifiés par les agriculteurs ayant mis en place des cultures relais

Du fait du peu de réponses d'agriculteurs ayant effectué des cultures relais, il n'a pas été possible d'identifier de réels facteurs de réussite à cette pratique.

Cependant, il a été identifié par tous les agriculteurs ayant effectué des cultures relais que les variétés utilisées pour la culture hôte doivent être **précoces**, afin de limiter la concurrence lors du développement de la culture relais.

Il semblerait que l'utilisation d'un **système de guidage** facilite la gestion de la circulation dans les rangs, sans endommager les cultures, mais aucun des agriculteurs interrogés n'avait un tel système.

Selon un agriculteur interrogé, un levier majeur pour la culture en relais serait d'avoir des **variétés résistantes aux herbicides**. Il considère que sans cela, il ne serait pas possible d'être performant avec cette pratique.

Leviers identifiés par les agriculteurs ayant mis en place des cultures dérobées

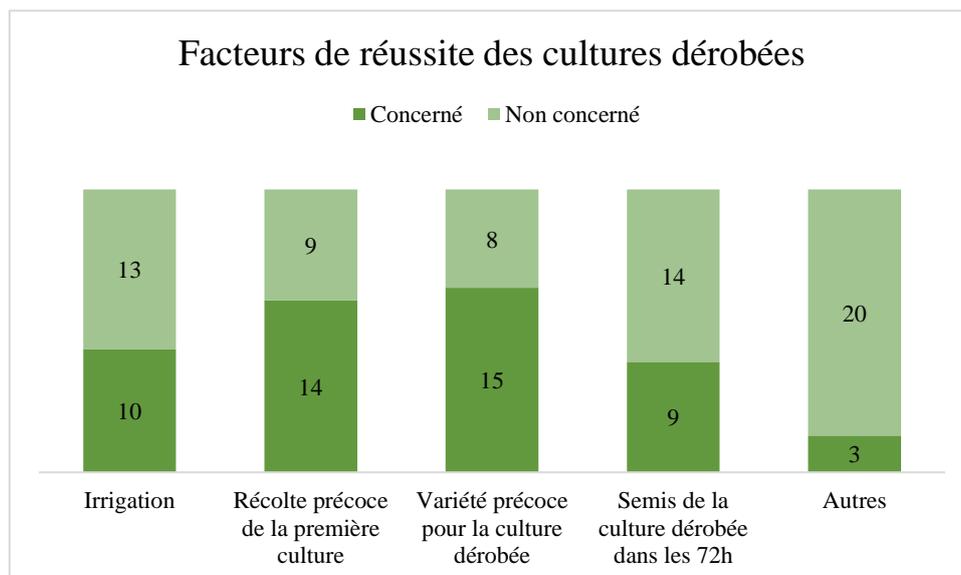


Figure 28 : Facteurs de réussite des cultures dérobées selon les agriculteurs enquêtés en ligne

La figure 28 présente les principaux facteurs de réussite des cultures dérobées identifiés par les agriculteurs sondés en ligne.

Les deux premiers facteurs identifiés sont la **récolte précoce** de la première culture et la **précocité variétale** de la culture dérobée. La récolte précoce de la première culture permet de semer plus tôt, donc dans des meilleures conditions la culture dérobée. En effet, les températures seront moins élevées et la RU des sols moins épuisée, ce qui permet alors une meilleure levée et une récolte moins tardive de la culture dérobée. La précocité variétale de la culture dérobée permet de raccourcir le cycle de développement et ainsi avancer la date de récolte par rapport à une variété plus tardive, permettant d'éviter au maximum les pluies en fin de cycle.

Chez les agriculteurs enquêtés en direct, les mêmes critères sont retrouvés dans chacun des ITK recensés. Ainsi, les deux principales cultures précédant la culture dérobée sont le pois d'hiver et l'orge d'hiver

En lien avec les deux facteurs précédents, le semis de la culture dérobée dans les **72h après récolte** du précédent est aussi un levier de réussite. Cette pratique permet de profiter de l'humidité résiduelle du sol pour permettre une meilleure levée par la suite. Cela se traduit souvent par une **implantation en semis-direct** de la culture dérobée, ou en un seul passage : huit agriculteurs enquêtés en direct effectuent le semis-direct et deux travaillent le sol et sèment en même temps grâce à un système combiné. Les autres passent le déchaumeur avant de semer, mais sèment toujours dans les 72h après récolte.

Ce critère de semis se retrouve également dans les ITK recensés, à cela se rajoute une « **date limite** » pour certains agriculteurs, considérant qu'au-delà de cette date, début juillet voire 25 juin, la probabilité de réussite de la culture dérobée est largement réduite.

L'**irrigation** est un facteur clé pour les agriculteurs qui ne sont pas dans des régions avec une pluviométrie suffisante ou dans des sols non profonds. Neuf des quatorze agriculteurs enquêtés en direct considèrent que l'irrigation, en dehors de terres profondes, est un critère essentiel à la réussite d'une culture dérobée.

Les trois autres facteurs « autres » identifiés par les agriculteurs enquêtés en ligne sont : l'**anticipation**, la facilité de **destruction des repousses** du précédent et la **pluviométrie estivale**.

Le levier « **destruction des repousses** » se retrouvent largement dans les enquêtes en direct : dix agriculteurs sur quatorze dés herbent (neuf chimiquement, un en binant). En effet, une bonne gestion des repousses du précédent permet de limiter la concurrence hydrique lors du développement de la culture dérobée.

La météo au mois d'octobre a aussi une large influence sur la réussite de la culture dérobée, comme nous avons pu le voir plus tôt. Bien que cela ne soit pas quelque chose de maîtrisable par l'agriculteur, certains critères cités plus haut permettent de réduire le risque. Grâce à l'analyse des ITK recensés, il semblerait qu'un autre levier technique permette de réduire le risque de ne pas récolter, ou de récolter dans de mauvaises conditions durant le mois d'octobre. En effet, deux agriculteurs du Tarn-et-Garonne possèdent un **équipement de séchage**. Cette stratégie adoptée permet de récolter le précédent, l'orge dans ce cas précis, plus tôt et le sécher pour le ramener aux normes si cela est nécessaire. Cela permet de semer la culture dérobée, ici le soja, une dizaine de jours avant la « date classique », soit aux alentours du 10 juin. Il n'est pas non plus exclu de sécher la culture dérobée si l'agriculteur considère qu'il y a trop de risques de ne pas récolter si la culture est laissée au champ. Cependant, l'investissement dans une plateforme de séchage est conséquent, ce qui explique le faible nombre d'exploitations ayant ce genre d'équipement.

5.3) Elaboration des règles de décision pour la construction d'un arbre de décision pour le soja dérobé

5.3.a) Les besoins en degrés-jours du soja dérobé

Tableau 8 : DJ calculés du semis à la levée du soja en dérobé selon les groupes de maturité

Groupe de maturité	DJ base 6°C
000	78
00	84
0	90
1	95

Le tableau 7 présente les résultats des calculs des besoins en DJ du semis à la levée pour le soja dérobé en fonction des groupes de maturité étudiés. La différence entre ces groupes n'est pas significative : entre les groupes de maturité 000 et 1, la différence est de 17 DJ, ce qui, en période estivale, correspond souvent à moins d'une journée.

Tableau 9 : DJ calculés du semis à la levée du soja dérobé selon le PMG (Poids de Milles Graines)

PMG	DJ base 6°C
195 (Angelica / Siverka)	77
205 (Obélix)	80
190 (ES Mentor)	89
145 (ES Pallador)	90
235 (RGT Speeda)	85

Le tableau 9 montre les DJ calculés sur la période du semis à la levée, selon le PMG des variétés utilisées. A première vue, il n'est pas possible de voir une tendance liant le PMG et le besoin en DJ pour la levée.

Tableau 10 : Besoins en DJ du soja en dérobé de la levée à la floraison selon les groupes de maturité

Groupe de maturité	Besoins en DJ base 6°C
000	410
00	428
0	590
1	546

Les calculs des besoins en DJ entre la levée et la floraison ont mis en évidence une différence entre les différents groupes de maturité. Comme il est observable dans le tableau 10, les besoins des groupes de maturité 000 et 00 sont plus faibles que pour les groupes 0 et 1. Entre le groupe 000 et 0, la différence est de 180 DJ, ce qui correspond à environ 10 jours pendant la période estivale.

Tableau 11 : Besoins en DJ du soja en dérobé de la floraison au stade R8 selon les groupes de maturité

Groupe de maturité	Besoins en DJ base 6°C
1	837
000	851
00	918
0	962

La somme de DJ entre la floraison et le stade R8 (tableau 11) ont montré une différence entre les différents groupes de maturité : le groupe I et 000 sont aux alentours de 840 DJ, le groupe 00 environ 920 DJ et enfin le groupe 0 aurait besoin de 962 DJ pour passer du stade floraison au stade R8. Ce stade R8 est souvent atteint courant septembre dans le cas du soja dérobé, donc la différence entre 000 et 00 de 80 DJ correspond à environ 5j et entre 00 et 0, la différence en DJ correspond à plus ou moins 8 jours.

Tableau 12 : Tableau récapitulatif des besoins du soja selon les stades

Groupe de maturité	Levée-Floraison	Floraison R8	Levée-R8
000	410	851	1264
00	428	918	1317
0	590	962	1344
1	546	837	1373

Le tableau 12 regroupe les différents besoins en DJ pour les différents groupes de maturité de la levée au stade R8, permettant ainsi de reconstruire les besoins du soja dérobé pour son cycle de développement. Les résultats coïncident avec les groupes de maturité expérimentés : les groupes de maturité les plus précoces, sélectionnés pour avoir un cycle de développement plus court, sont ceux ayant une somme de DJ de la levée à la récolte la plus réduite.

La différence entre les groupes de maturité en termes de DJ n'excède pas les 110 DJ (entre 000 et 1), cependant, au mois d'octobre, cela peut correspondre à environ une semaine, ce qui n'est pas négligeable pour une récolte dans cette période (forte pluviométrie).

Tableau 13 : Besoins en DJ estimés entre R8 et la récolte selon les groupes de maturité

Groupe de maturité	Besoins en DJ base 6°C
000	153

00	133
1	157
Moyenne	147

Il a été établi un « forfait » entre le stade R8 et la récolte. Les résultats de ces calculs (tableau 13) ne montrent pas de différences notables entre les différents groupes de maturité, il a donc été établi que ce forfait serait de 147 DJ, ce qui correspond pendant la période d'octobre à une douzaine de jours.

5.3.b) Les besoins en eau

Les périodes les plus sensibles au stress hydrique sont la floraison et la formation des gousses, le stress hydrique pouvant causer des chutes de fleurs et de gousses (Choto, 2010). Un stress hydrique durant la période de floraison peut entraîner une chute du nombre de fleurs et donc une baisse de nombre de grains en raison de l'avortement de fleurs (Sionit et al., 1977). Un stress hydrique pendant la période de remplissage des gousses peut également entraîner une réduction de la taille des graines (Sionit et al., 1977).

Cependant, un manque d'eau de la période de floraison à la formation des gousses fait chuter le nombre de gousses et de graines (Sionit et al. 1977).

Ainsi, le soja devient sensible au manque d'eau à partir de la floraison, jusqu'au remplissage des gousses.

Un apport hydrique (pluie ou irrigation) entre 15 et 20mm selon les sols après le semis permettent d'assurer une levée rapide (Terres Inovia, 2019). D'après Terres Inovia, le soja aurait besoin de 100 mm par 10 quintaux par hectare. Pour un rendement optimal, le soja aurait besoin de 3 à 5 mm d'eau par jour du stade floraison à la maturité physiologique (Terres Inovia).

5.3.c) Ebauche des règles de décision à la réussite du soja en dérobé

Degrés-jours

Le premier critère de réussite pour la culture du soja dérobé est que de la levée au stade R8 le nombre de degrés-jours disponibles soient suffisant par rapport aux exigences calculées précédemment, selon les groupes de maturité.

Il semblerait, d'après les résultats précédents, qu'il faille environ une douzaine de jours pour que le soja atteigne la maturité technologique, après avoir atteint le stade R8. Cette règle de décision sera remise en question dans la partie discussion.

Pluviométrie et irrigation

D'après les résultats précédents, il semblerait qu'une pluviométrie entre le semis et le stade R8 de plus de 200 mm soit un bon indicateur d'un rendement correct. Cette règle de décision sera aussi reprise dans la partie discussion. Concernant la levée, pour une bonne levée, la pluviométrie de la période l'encadrant doit être au minimum de 15 mm.

La figure 29 résume les règles de décision évoquée ci-dessus.

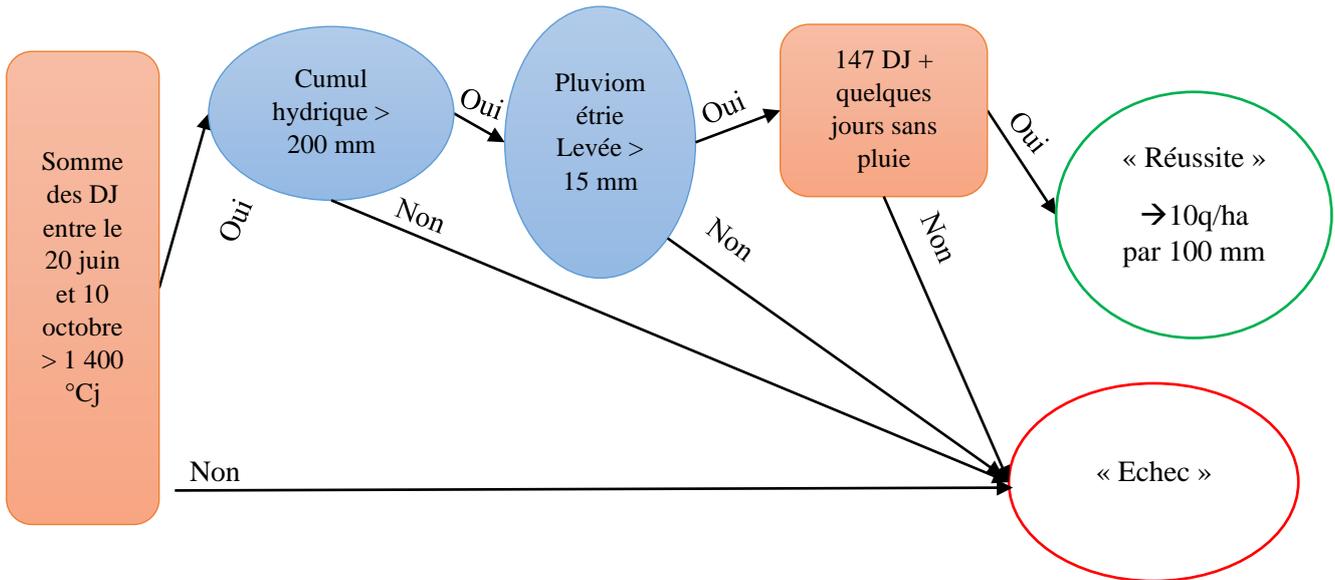


Figure 29 : Ebauche des règles de décision pour la construction d'un arbre de décision pour le soja dérobé

5.3.d) Fréquence de réussite des conditions météorologiques

La figure 30 permet de voir les cumuls de précipitations et des degrés-jours de la station d'Auch entre le 20 juin et le 10 octobre. Concernant la pluviométrie, seules 4 années sur 15 ont une pluviométrie sur cette période supérieure à 200mm. Quant aux DJ, les 15 années présentent une somme de DJ supérieure à 1400 °Cj.

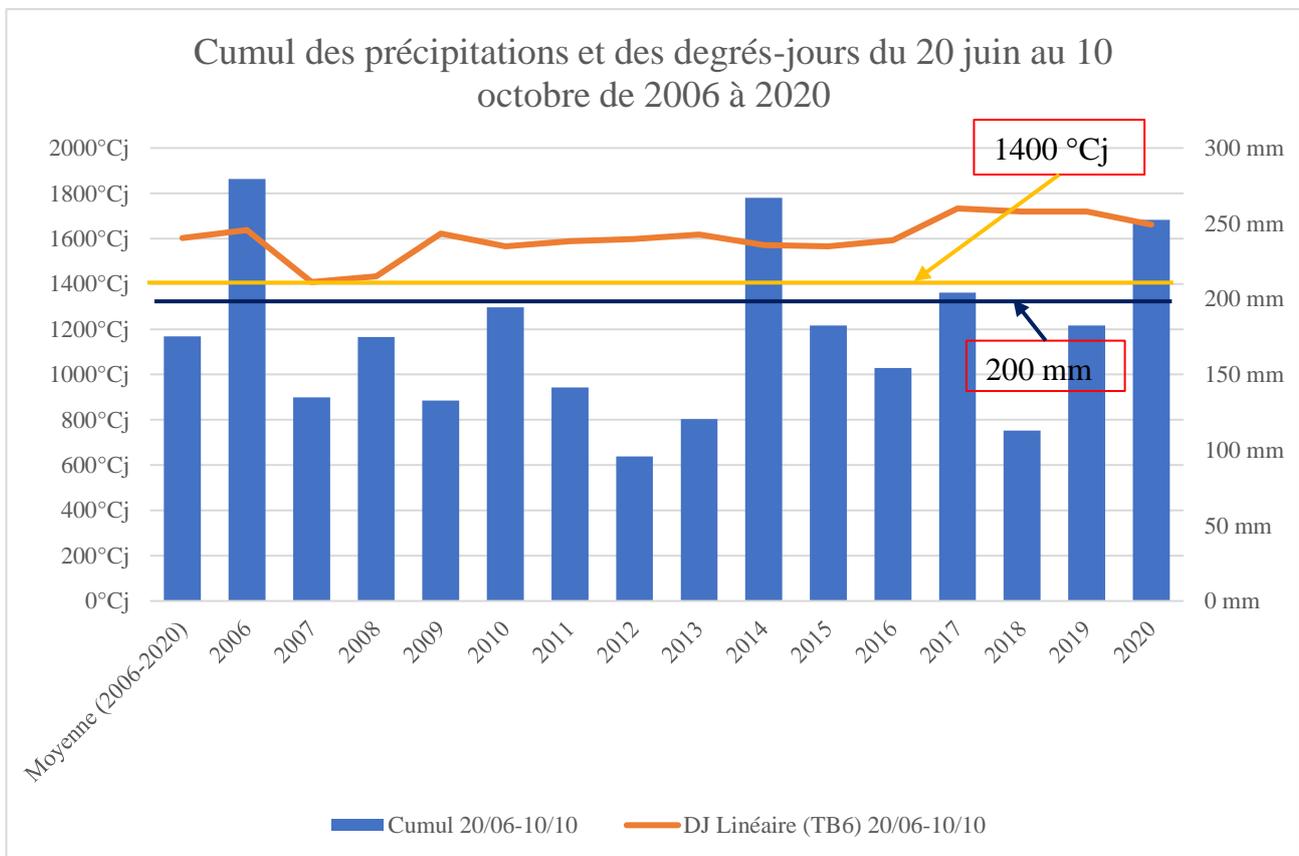


Figure 30 : Cumul des précipitations et des degrés-jours du 20 juin au 10 octobre de 2006 à 2020 pour la station d'Auch

La figure 31 permet de voir les cumuls de précipitations et des degrés-jours de la station de Montauban entre le 20 juin et le 10 octobre. Concernant la pluviométrie, 6 années sur 17 ont un cumul de pluviométrie dans la plage étudiée supérieure à 200 mm. Pour les DJ, toutes les années ont une somme en DJ supérieure à 1 400 °Cj.

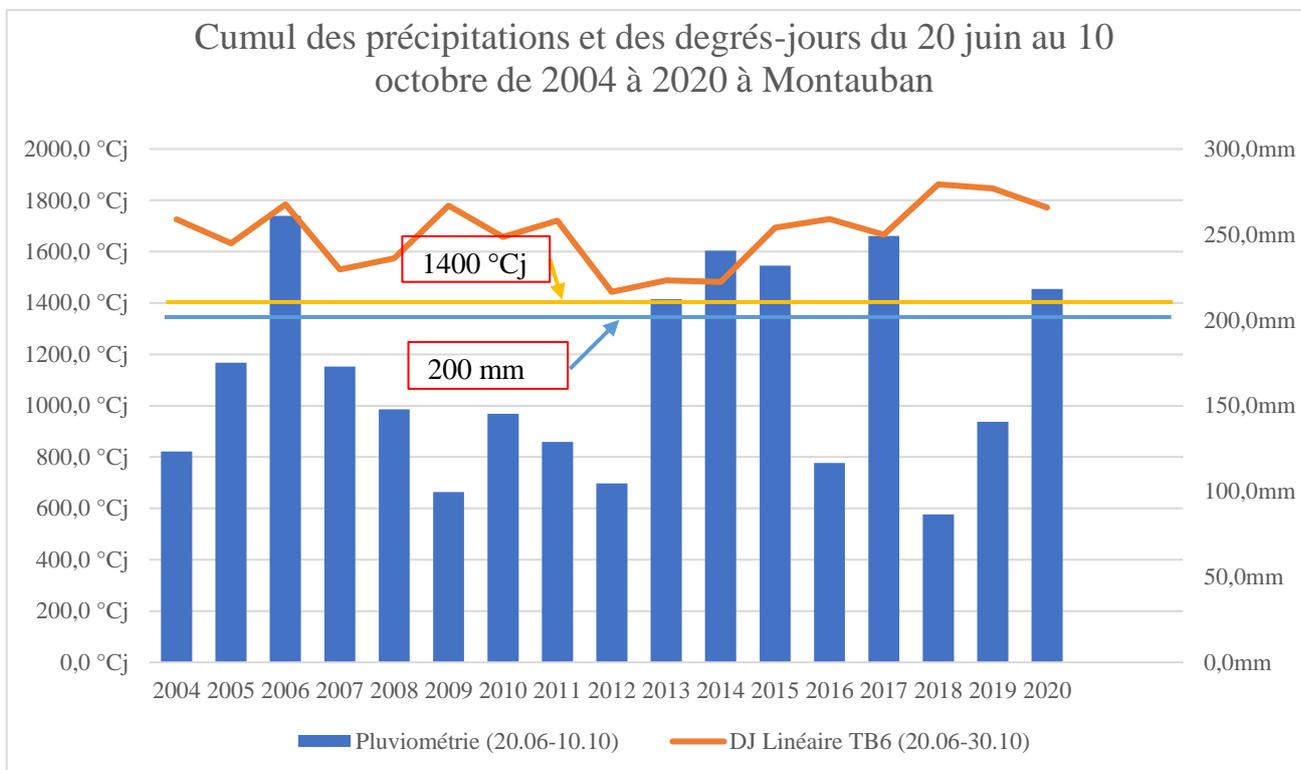


Figure 31 : Cumul des précipitations et des degrés-jours du 20 juin au 10 octobre de 2006 à 2020 pour la station de Montauban

Bien que ces deux stations ne reflètent pas l'ensemble du territoire étudié, il semblerait que le critère des besoins en DJ soit souvent, si ce n'est toujours, satisfait. Concernant les besoins en eau, les années satisfaisantes sont plus rares, et très aléatoires.

VI_ Discussions et perspectives

6.1) Discussion et perspectives de la méthode

6.1.a) Enquêtes auprès des agriculteurs

L'échantillon enquêté est à la fois réduit et non représentatif des pratiques effectuées dans le secteur d'étude. Il a été difficile de récupérer des noms d'agriculteurs ayant effectué des doubles cultures, notamment des cultures en relais. La raison principale est que peu d'agriculteurs ayant répondu à l'enquête en ligne souhaitent poursuivre avec une enquête en direct, et peu d'agriculteurs mettent en place des cultures relais. Ainsi, ce petit nombre de profils ne peuvent donner qu'une indication sur les informations recherchées, et non de réelles tendances.

A cela s'ajoute des imprécisions sur les informations demandées : les dates de semis et récolte n'étaient pas toujours précises, tout comme le rendement ou l'irrigation. Ces manques de précision ont pu entraîner certains biais dans la suite de l'étude.

L'enquête en ligne a servi à récolter un plus grand nombre de réponses, même si cela était moins précis (pas de dates de semis, récolte, etc.).

6.1.b) Mise en place de règles de décision

Manque de données bibliographiques

La mise en place d'un arbre de décision pour l'estimation du rendement nécessitait des données physiologiques assez précises (besoins en degrés jours pour chaque stade, développement en fonction des besoins en eau, etc.) qui manquaient dans la bibliographie.

Calcul des besoins en degrés-jours

La méthode de calcul utilisée est issue de la méthode STICS mais a été modifiée. Le fait de tronquer la température maximale journalière à 30°C peut être discutable, du fait que le soja soit une plante tropicale, et peu sûrement se développer même en subissant des températures élevées.

Données expérimentales

Les calculs pour évaluer les besoins en degrés-jours ont été faits sur des essais avec peu de données et des biais non négligeables : pluviométrie variable, deux années (un essai en 2019 et deux en 2020), etc. A cela se rajoute les conditions météorologiques particulières de l'année 2020 avec un mois d'octobre très pluvieux, ce qui a réduit les fenêtres de récolte.

De plus, les stades physiologiques disponibles n'étaient pas les mêmes, ainsi, pour l'estimation des besoins en DJ pour les différents stades toutes les données n'ont pas pu être utilisées, ce qui réduit la robustesse des résultats.

Etude climatique

L'étude climatique n'a pu se faire que sur deux stations météorologiques, situées en Occitanie. Ces données ne reflètent donc pas la situation climatologique de tout le Grand Sud-

Ouest. Afin de pouvoir faire une étude sur tout le territoire, il serait intéressant de récolter les données météorologiques de chaque département concerné par l'étude du soja en dérobé.

6.2) Discussion et perspectives des résultats

6.2.1) Profils étudiés dans l'analyse des freins et leviers aux doubles cultures

Le profil le plus rencontré lors des enquêtes sur les doubles cultures était celui faisant des **cultures dérobées**. Le fait que très peu d'agriculteurs effectuant des cultures relais aient répondu renseigne sur l'état actuel de la pratique : bien que théoriquement cette pratique soit très intéressante, peu d'agriculteurs se lancent dans la pratique. En effet, comme il a été évoqué plus haut, le principal frein à la mise en place de cultures relais est le matériel, donc beaucoup d'agriculteurs ne mettent pas en place de cultures relais, même en « test » à cause de ce frein majeur.

Une autre caractéristique majeure des profils rencontrés est le fait que la majorité des enquêtés fassent parti de la région Occitanie. Cela ne reflète pas la réalité, car nous savons que beaucoup d'agriculteurs de Nouvelle-Aquitaine effectuent des doubles cultures (Ferrand, 2018). Le fait qu'il y ait eu peu de réponses pour les enquêtes est éventuellement dû à un défaut de communication.

La majorité des agriculteurs enquêtés sont dans une démarche de **réduction du travail du sol** (TCS, labour occasionnel), voire sont arrêt complet (ACS). Souvent, cette volonté de réduire le travail du sol s'accompagne par une diversification culturale et une implantation de couverts végétaux, sans pour autant que cela soit de l'ACS. Ainsi, il est possible que ces pratiques permettent une implantation de culture dérobée facilitée (cf. 6.2.2) *Discussions des freins et leviers identifiés*). De plus, ces agriculteurs sont majoritairement en **agriculture conventionnelle**, pouvant aussi avoir un impact sur le déroulement des cultures dérobées.

Les espèces cultivées en doubles cultures sont celles-ci car ce sont des **cultures d'été ayant un cycle rapide**, ou ayant été sélectionnées pour avoir un cycle plus court. De plus, il est possible que ces cultures soient mises en place par les agriculteurs par « habitude », connaissant déjà la conduite de certaines cultures, ils prendraient moins de risque à faire une culture dérobée avec une espèce déjà connue.

6.2.2) Freins et leviers identifiés à la mise en place de doubles cultures

Concernant les motivations à la mise en place de doubles cultures, le fait que la majorité des agriculteurs mettant en place des doubles cultures le fasse pour une motivation agronomique et une motivation économique, et non soit l'un soit l'autre, peut s'expliquer de la manière suivante : un agriculteur voulant mettre en place des doubles cultures uniquement pour le facteur économique ne pourrait pas se retrouver d'un point de vue économique entre les charges que cela lui demande (travail, argent, etc.) ; tandis qu'un agriculteur mettant en place des doubles cultures uniquement pour le côté agronomique de la pratique, sera plus enclin à faire des couverts végétaux. Ainsi, il apparaît que les agriculteurs qui pérennisent cette pratique veulent à la fois couvrir leurs sols, mais aussi pouvoir tirer un profit économique de cette couverture.

A cela s'ajoute, comme évoqué précédemment, une pratique du travail du sol réduite. Cette pratique peut être identifiée comme étant un levier pour l'implantation des cultures dérobées, car ces dernières doivent être implantées le plus tôt possible afin de profiter de l'humidité résiduelle du sol et avoir le temps de finir leur cycle de développement à temps. Ainsi, un agriculteur possédant déjà le matériel permettant de semer en direct se verra avantagé par rapport à un agriculteur devant travailler son sol avant le semis. De plus, l'agriculture conventionnelle peut être également identifiée comme étant un levier, car grâce aux désherbants, les repousses de précédent sont facilement gérées, sans à avoir à retravailler le sol, ce qui peut avoir pour conséquence une sécheresse accrue du sol.

Cette étude a permis de mettre en lumière différents freins et leviers techniques, agronomiques, météorologiques, phytosanitaires, etc. Un des freins majeurs à la réussite des doubles cultures est la météo, notamment en termes de pluviométrie. En effet, les étés sont de

plus en plus secs et la pluviométrie en octobre peut être gênante pour la récolte. Les figures 32 et 33 confirment le fait que les étés sont plus secs qu'auparavant.

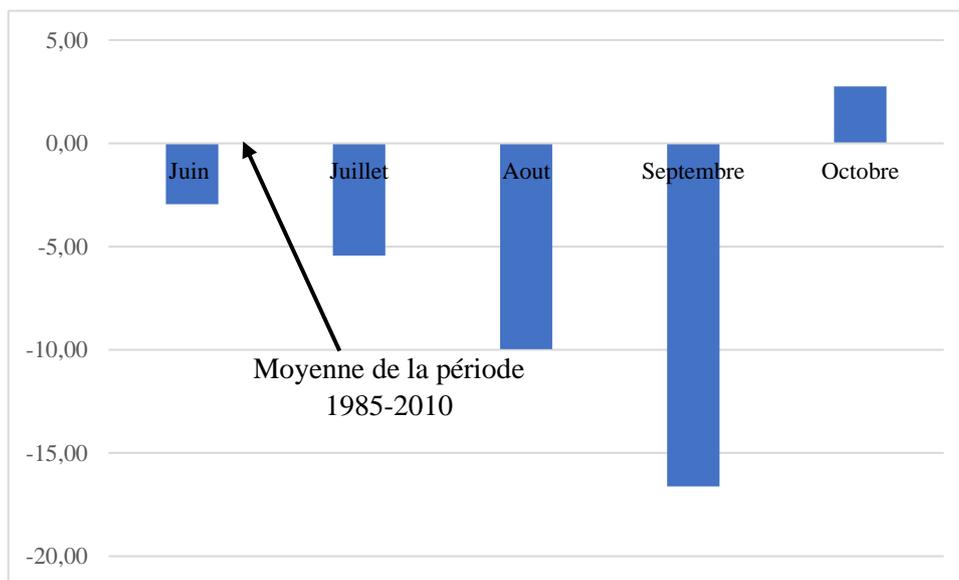


Figure 32 : Différence de pluviométrie entre la période 1985-2010 et la période 2006-2020 à Auch

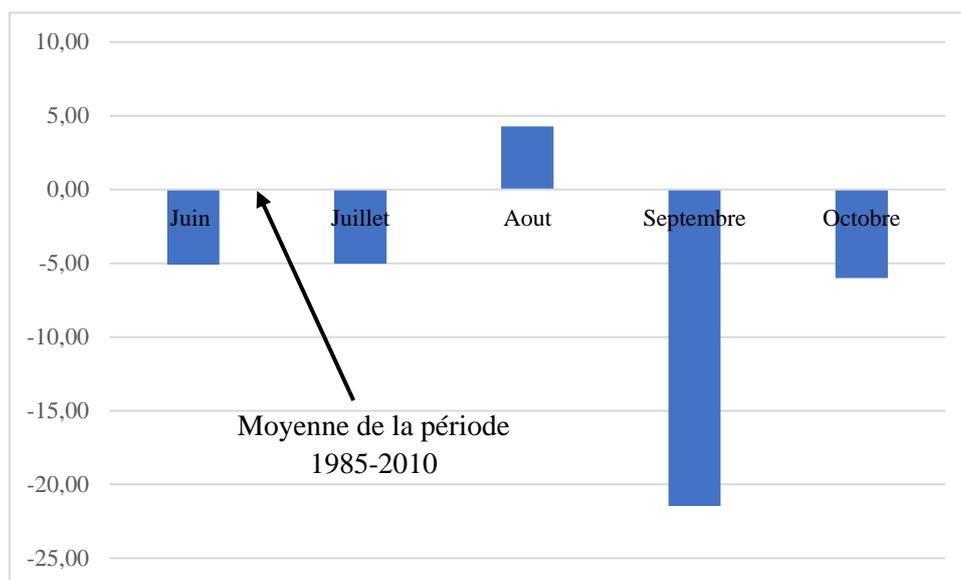


Figure 33 : Différence de pluviométrie entre la période 1985-2010 et 2003-2020 à Montauban

La sécheresse estivale est une tendance qui tend à s'installer dans une grande partie de la France, notamment dans le Grand Sud-Ouest. Ainsi, ces différences de pluviométrie par rapport aux décennies passées, renforcent le levier identifié « irrigation ».

De plus, le fait que la fréquence de la pluviométrie supérieure à 200 mm soit faible renforce le fait que l'irrigation est quasi indispensable pour le développement du soja en dérobé, du moins dans le Gers et dans le Tarn-et-Garonne.

Afin de faire une analyse plus poussée, il faudrait pouvoir recueillir les données de toutes les stations météo des départements où le soja dérobé est pratiqué. Cela permettrait de

conclure sur les probabilités de réussite ou non du soja déroché en fonction de la zone géographique étudiée.

Pour faire suite à cette étude, il serait intéressant de récolter plus d'avis d'agriculteurs concernant les cultures relais, afin pouvoir analyser de manière plus précise les résultats obtenus. Un plus grand nombre d'agriculteurs ayant aussi mis en place des cultures dérochées servirait à confirmer ou infirmer l'établissement des freins et leviers précédents.

6.2.3) Règles de décisions à l'établissement d'un arbre de décision du soja déroché

Les résultats de la somme de DJ entre la levée et la floraison selon les groupes de maturité semblent cohérents, car ces premiers sont plus précoces et ont été sélectionnés pour avoir des cycles de développement plus courts, donc des besoins en DJ plus faibles.

Cependant, concernant la période entre la floraison et le stade R8, les DJ pour le groupe de maturité 1 sont faibles, ce qui n'est pas cohérent avec les résultats attendus. Cependant, cela peut être expliqué par le fait que le soja est une espèce sensible à la photopériode : plus les jours sont courts, plus le soja pourra traverser les stades de croissance rapidement (Bonher, 2020). Or, les variétés précoces sont moins sensibles à la photopériode que les groupes à maturité plus tardive, ce qui peut expliquer cette différence dans les résultats (Bonher, 2020).

Toutefois, la somme de DJ de la levée à la maturité physiologique permet de distinguer les groupes de maturité les plus précoces avec un besoin en DJ plus faibles de ceux des groupes de maturité plus tardive.

Concernant les besoins en DJ du semis à la levée, ni le critère de précocité ni le critère de PMG ne semble impliquer dans la vitesse de levée du soja déroché. Il est fortement possible que le critère principal pour permettre une levée rapide soit les conditions hydriques : si le sol est dans de bonnes conditions lors du semis, ou qu'il pleut dans les jours suivants le semis, la levée serait alors assurée et rapide. Les DJ ne seraient alors pas un bon indicateur pour estimer la levée, même si la température du sol lors du semis est importante (supérieure à 10°C), celle-ci est toujours assez élevée pendant les périodes de semis du soja déroché.

Concernant le « besoin » en DJ entre le stade R8 et la récolte, ce calcul est discutable. En effet, le stade R8 correspondant à la maturité physiologique et la récolte à la maturité technologique, ainsi il est possible que le temps entre ces deux stades ne soit pas dépendant d'un nombre de degrés-jours mais d'un nombre de jours « séchants » sans pluie. D'après une rapide étude de la pluviométrie des essais utilisés, il semblerait qu'un créneau de 3 ou 4 jours sans pluie soient nécessaires et suffisants à ce que le soja atteigne le stade de maturité technologique. Cette hypothèse ne peut pas être vérifiée avec les essais utilisés car pour une année d'essais il n'y a que deux dates de récolte, sûrement dans un souci de réduction du nombre de chantier de récolte. Ainsi, il est possible que certaines dates de récolte auraient pu être avancée. L'analyse de cette période permettrait de vérifier si le soja nécessite une somme en DJ plus des jours sans pluie post maturité pour pouvoir récolter, ou si la somme de DJ n'a pas d'impact. La maturité physiologique étant atteinte, donc le cycle de développement terminé, il semblerait que seul le critère hydrique joue un rôle majeur, même si de fortes températures peuvent accélérer le processus de séchage, tout comme le vent.

Pour les besoins en eau du soja déroché, il faudrait calculer l'apport hydrique (pluviométrie et irrigation) entre chaque stade et les relier au rendement. En effet, le total pluviométrique est important, cependant, il est nécessaire de savoir si aux moments des stades sensibles au stress hydrique les besoins en eaux ont été satisfaits, car cela impactera le rendement.

Le tableau 14 résume les nouveaux critères et indicateurs à étudier afin d'élaborer un arbre de décision pour le rendement du soja déroché plus pertinent. La figure 34 présente la position de ces nouveaux indicateurs dans le cycle de culture du soja.

Tableau 14 : Critères et indicateurs à prendre en compte pour l'élaboration d'un arbre de décision pour le soja déroché

Critères	Indicateurs
Température	Somme de DJ entre la levée et la maturité
Eau	Cumul de pluie autour du semis
	Cumul de pluie de la levée à la maturité
	Pluie autour de chaque stade sensible
	Pluie après maturité physiologique

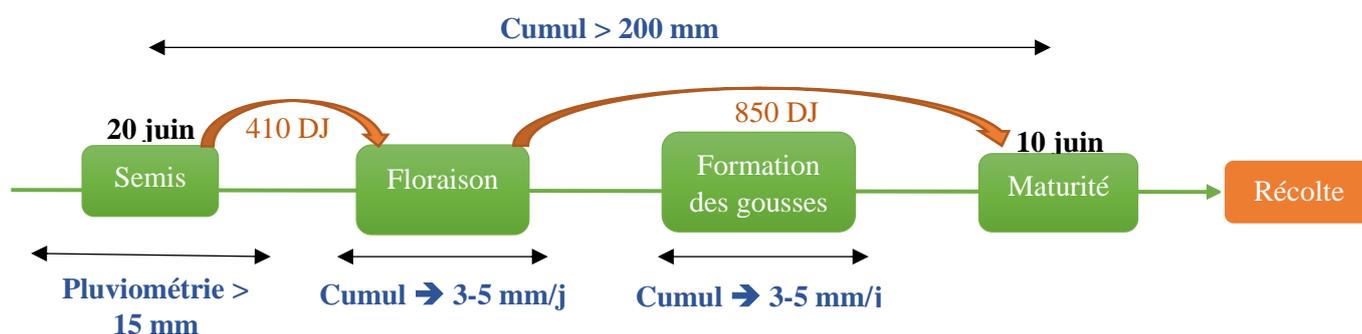


Figure 34 : Position des nouveaux indicateurs dans le cycle de développement du soja déroché

Pour donner suite à l'établissement de références en soja déroché concernant les besoins en degrés-jours suivant les stades de développement et l'étude de l'impact de l'eau, l'élaboration d'un arbre de décision pour estimer le rendement serait intéressant. Pour cela, il faudrait récolter un grand nombre d'ITK en soja déroché afin de pouvoir tester sa robustesse.

VII Conclusion

Les doubles cultures sont une des solutions mobilisées par les agriculteurs pour répondre à un contexte économique difficile en cherchant une marge supplémentaire, tout en répondant aux exigences environnementales de couverture des sols à l'automne. Ces dernières années ont été favorables au développement de cette technique, il était donc nécessaire de s'intéresser aux freins et leviers de ces pratiques. Le soja est une espèce particulièrement favorable aux doubles cultures, ainsi, afin de bien connaître cette culture menée en dérobée, il a fallu établir des références et des règles de décision pour mener à la conception d'un arbre de décision de rendement.

A la suite des enquêtes auprès des agriculteurs, la pratique de doubles cultures la plus répandue était la culture dérobée. Cette pratique semble plus réalisable techniquement par les agriculteurs que la culture relais.

Un profil d'agriculteur type se dégage à la suite de l'analyse des résultats : agriculture conventionnelle avec une pratique du travail du sol réduite. Ces deux critères ont été identifiés comme étant des leviers au développement des cultures dérobées.

Au-delà des freins et leviers techniques et agronomiques identifiés, la météo est un facteur sur lequel les agriculteurs ont très peu de marge de manœuvre, ils doivent alors adopter des stratégies afin de contourner ce problème : semis le plus tôt possible, irrigation, séchage si nécessaire et possible.

Concernant le soja dérobé et l'identification des règles de décision à sa réussite, l'établissement de références en termes de DJ a permis d'identifier la somme nécessaire entre chaque stade mais aussi de constater que les groupes de maturité plus précoces ont bien un besoin en DJ plus faible que ceux plus tardifs. Cependant, la température n'est pas le seul facteur clé indiquant la réussite ou l'échec d'une telle culture. Le développement du soja dérobé se déroulant durant la saison estivale, le critère hydrique est essentiel. Ainsi, il est nécessaire d'étudier, comme pour les besoins en DJ, la quantité d'eau requise entre chaque stade, afin de la relier au rendement final. La période de récolte étant aussi un moment critique, l'analyse du nombre de jours sans pluie post maturité physiologique nécessaire pour la récolte est indispensable.

Bibliographie

BOHNER Horst, 2020. *Effet de la sensibilité à la photopériode sur le choix des cultivars de soya*. In : Bulletin Grandes Cultures, Ministère de l'agriculture, de l'alimentation et des affaires rurales de l'Ontario [en ligne]. Mars 2020. [Consulté le 28 février 2021]. Disponible à l'adresse : <http://www.omafra.gov.on.ca/french/crops/field/news/croptalk/2020/ct-0320a2.htm>

Borchers, Allison, Elizabeth Truex-Powell, Steven Wallander, and Cynthia Nickerson. *Multi-Cropping Practices : Recent Trends in Double Cropping*, EIB-125. U.S. Department of Agriculture, Economic Research Service, May 2014.

BRUN Damien, LEVEQUE Claire Lise, 2020. Réussir deux récoltes par an : relay cropping ou double culture ?, In : *Perspectives Agricoles* [en ligne]. 01 mai 2020. [Consulté le 28 février 2021]. Disponible sur : <https://www.perspectives-agricoles.com/reussir-deux-recoltes-par-an-relay-cropping-ou-double-culture--@/view-3453-arvarticlepa.html>

CALVINO Pablo, MONZON Juan, 2009. *Crop Physiology*. Chapter 3 - Farming Systems of Argentina: Yield Constraints and Risk Management. p. 55-70. DOI : <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374431-9.00003-7>

CAMPANHOLA Clayton, PANDEY Shivaji, 2019. *Sustainable Food and Agriculture*. Chapter 26 - Intercropping, Multicropping, and Rotations. p. 243-248. DOI : <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812134-4.00026-1>

Cavaillé Albert. Les sols de boulbène de l'Aquitaine et les climats quaternaires. In : *Revue géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest*, tome 22, fascicule 2-3, 1951. pp. 199-206. DOI : <https://doi.org/10.3406/rgps.1951.1311>

CHAMBRE D'AGRICULTURE REGIONALE DE NOUVELLE-AQUITAINE. L'agriculture en Nouvelle-Aquitaine. In : *Chambre d'agriculture de Nouvelle-Aquitaine* [en ligne]. [Consulté le 28 février 2021].

Disponible à l'adresse :

https://draaf.occitanie.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/p_memento2021_vinternet_cle8b6c1e.pdf

Disponible à l'adresse : <https://nouvelle-aquitaine.chambres-agriculture.fr/filieres-et-territoires/la-region-nouvelle-aquitaine/lagriculture-en-nouvelle-aquitaine/>

Disponible sur : https://www.researchgate.net/publication/280315586_Les_Pedopaysages_des_plaines_centrales_de_Midi-Pyrenees

DOTO Vivien Chaim, 2010. *Etude de la consommation en eau et du rendement d'une culture de soja (Glycine max (L.) Merr.) sur un sol ferrallitique tropical au Sud-Bénin*. Mémoire pour l'obtention du Diplôme d'Etudes Approfondies. Bénin : Université d'Abomey-Calavi, 2010. 74 p. Disponible à l'adresse : <https://www.memoireonline.com/01/20/11516/tude-de-la-consommation-en-eau-et-du-rendement-d-une-culture-de-soja-glycine-max-l-merr-sur.html>

DRAAF OCCITANIE, 2021. Memento Occitanie 2021. In : *Agreste, la statistique, l'évaluation et la prospective agricole* [en ligne]. [Consulté le 28 février 2021].

ELOBEID Amani, MOREIRA Marcelo M.R., ZANETTI DE LIMA Cicero, CARRIQUIRY Miguel, HARFUCH Leila. Biofuels, Bioenergy and Food Security. Chapter 7 - Implications of biofuel production on direct and indirect land use change: Evidence from Brazil. p. 125-143. DOI : <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803954-0.00007-3>

FOURNIER Thomas. Impacts du changement climatique sur les pratiques agricoles : Adaptation des activités agricoles et répercussion sur la biodiversité ? . In : *Sciences du Vivant* [en ligne]. 2009. Disponible à l'adresse : <https://hal.inrae.fr/hal-02819937>

GAUTHIER Camille, 2011. Eviter la rémanence des herbicides. In : *Terre-Net* [en ligne], juillet 2011. [Consulté le 28 février 2021]. Disponible à l'adresse : <https://www.terre-net.fr/observatoire-technique-culturale/strategie-technique-culturale/article/eviter-la-remanence-des-herbicides-217-72829.html>

GRIMAL Didier, SOUBEYROUX Jean-Michel, ROULLE Olivier, 2016. Changement climatique et ressource en eau en région Occitanie. ©Météo France. In : La Région [en ligne]. 27 octobre 2016. Disponible sur : https://www.laregion.fr/IMG/pdf/etude_meteofrance_climat_occitanie.pdf

Guirese, Maritxu & E., Cambou & C, Collin & A., Denjean & P., Falba & E, Guigues & M., Mouclier & E, Nesling & J.P., Party & Rigou, Laurent & Schneider, Arnaud & A., Toiser & E., Yken & J.C., Revel. (2013). Les Pédopaysages des plaines centrales de Midi-Pyrénées. HARTMANN Vincent, 2018. Evolution du climat en Occitanie. Indicateurs pour l'agriculture et la forêt. ©Météo France. In : *Météo et Climat* [en ligne]. 30 mai 2018. Disponible à l'adresse : https://meteoclimat.fr/wp-content/uploads/2018/06/JSTOC2018_Hartmann_Climat-Occitanie.pdf

J.M. Meynard, A. Messéan, A. Charlier, F. Charrier, M. Fares, M. Le Bail, M.B. Magrini, I. Savini, 2013. Freins et leviers à la diversification des cultures. Etude au niveau des exploitations agricoles et des filières. Synthèse du rapport d'étude, INRA, 52 p. Disponible à l'adresse : <https://www.inrae.fr/sites/default/files/pdf/b35ce2616f7141767c931f46e5e52929.pdf>

LUCAS Jean-Louis, 2019. Récolter le soja à maturité. In : *Terres Inovia* [en ligne]. 25 mars 2019. [Consulté le 28 février 2021]. Disponible à l'adresse : <https://www.terresinovia.fr/-/recolter-le-soja-a-maturite#:~:text=La%20r%C3%A9colte%20doit%20%C3%AAtre%20r%C3%A9alis%C3%A9e,et%2016%20%25%20d'humidit%C3%A9>.

MARANDET, Marie-Claude. Deuxième partie : Le lauragais, une vision d'ensemble In : Les campagnes du Lauragais à la fin du Moyen Âge : 1380 - début du XVIe siècle [en ligne]. Perpignan : Presses universitaires de Perpignan, 2006 (généré le 28 février 2021). Disponible sur Internet : <http://books.openedition.org/pupvd/2039>. DOI : <https://doi.org/10.4000/books.pupvd.2039>

Mohamed Ghali, Karine Daniel, François Colson et Stéphane Sorin, « L'agriculture écologiquement intensive. Une approche économique », *Économie rurale* [En ligne], 341 | mai-juin 2014, mis en ligne le 15 mai 2016. [Consulté le 28 février 2021]. DOI : <https://doi.org/10.4000/economierurale.4338>

Nadine Brisson, Frédéric Levrault, 2010. Changement climatique, agriculture et forêt en France : simulations d'impacts sur les principales espèces. *Le Livre Vert du projet CLIMATOR (2007-2010)* [en ligne]. ADEME. 336 p. Disponible à l'adresse : http://www.cerfacs.fr/~page/publications/livre_vert_climator/livre_vert_climator.pdf

ORACLE, 2018. Etat des lieux sur le changement climatique et ses incidences agricoles en région Nouvelle-Aquitaine, Edition 2018. In : *ORACLE Nouvelle-Aquitaine* [en ligne]. 2018. Disponible à l'adresse : https://nouvelle-aquitaine.chambres-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/National/FAL_commun/publications/Nouvelle-Aquitaine/ORACLE_Nouvelle_Aquitaine_Edition_2018.pdf

Schoving C, Stöckle CO, Colombet C, Champolivier L, Debaeke P and Maury P (2020) Combining Simple Phenotyping and Photothermal Algorithm for the Prediction of Soybean Phenology: Application to a Range of Common Cultivars Grown in Europe. *Front. Plant Sci.* 10:1755. doi: 10.3389/fpls.2019.01755

Sionit, N., & Kramer, P. J. (1977). *Effect of Water Stress During Different Stages of Growth of Soybean I.* *Agronomy Journal*, 69(2), 274. doi:[10.2134/agronj1977.00021962006900020018](https://doi.org/10.2134/agronj1977.00021962006900020018)

Timothy M. Bowles, Maria Mooshammer, Yvonne Socolar, ..., Marty R. Schmer, Jeffrey Strock, A. Stuart Grandy, 2020. Long-Term Evidence Shows that Crop-Rotation Diversification Increases Agricultural Resilience to Adverse Growing Conditions in North America [En ligne]. In : *One Earth* 2, mars 2020. Vol 284-293. DOI : <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2020.02.007>

Annexes

Annexe I : Liste des variables théoriques pouvant influencer la réussite ou l'échec (i) d'une culture relais, (ii) d'une culture dérochée, (iii) d'un soja déroché.

(i)

Variables	Facteur de Réussite	Facteur d'Echec	Explications
Date de semis	Semis au bon moment	Trop tôt / trop tard	Compétition trop importante / diminution des chances de développement de la culture relai
Eau disponible	Irrigation	Stress hydrique	Eventuelle compétition hydrique entre les deux cultures / plus assez d'eau pour la culture relai
Matériel	Matériel « sur mesure » ou « fait maison »	Matériel non adapté	L'architecture de semis doit être réalisable avec le semoir disponible / lors de la moisson, la moissonneuse ne doit pas couper la culture relais / les roues ne doivent pas (trop) écraser la culture relai
Première culture	Récolte précoce	Récolte trop tardive	La première culture ne doit pas empêcher la culture relai de se développer
Gestion des résidus de culture	Broyage des résidus (pailles)	Récolter les pailles	Récolter les pailles implique un passage de plus dans la parcelle et cela constitue un risque non négligeable d'écrasement de la culture relai.
Ecartement	Rangs de la culture principale écartés	Rangs de la culture principale trop rapprochés	Il peut y avoir une compétition lumineuse trop grande si les rangs de la culture principale sont trop proches
Densité de la première culture	« Diviser la densité de semis proportionnellement au nombre de rangs fermés » (Arvalis-info, 2018)	Densité classique	Il faut éviter que la première culture n'envahisse les rangs fermés, destinés à la culture relai. N.B. : un rang fermé est un rang non semé
Produits phytosanitaires	Produits adaptés aux deux cultures	Produits non adaptés aux deux cultures	Les produits utilisés doivent être homologués pour les deux cultures mises en place, ce qui peut être difficile à trouver
Désherbage	A effectuer en automne de préférence	Rémanence des produits	Les problèmes de rémanence des produits phytosanitaires peuvent empêcher le semis de la culture d'été (Arvalis, 2018)

(ii)

Facteurs	Réussite	Echec	Explications
Température		Pics de chaleur	Destruction d'une partie de la culture
Eau disponible	Irrigation disponible si besoin	Stress hydrique	
Atteinte de la maturité	Variété précoce pour la dérobée et la principale	Période trop courte, n'a pas pu atteindre la maturité	La période d'interculture est assez courte, la culture doit pouvoir finir son cycle avant que la météo ne se dégrade ou avant le semis de la culture suivante
Adventices		Repousses de la culture principale ou autres	La (re)pousse d'adventices peut constituer un coût trop important pour l'agriculteur, et ainsi il abandonnerait la culture

(iii)

Variables	Facteurs de réussite	Facteurs d'échec	Explications
Température	<i>Température du sol >10°C au semis / Température >15°C lors de la floraison</i>	<i>Température du sol <10°C → mauvaise levée / Température <15°C lors de la floraison → avortement</i>	
Eau disponible	<i>Irrigation</i>	<i>Pas d'irrigation</i>	<i>Le soja a besoin de 350/400mm pour un rendement maximum (sinon 200 mm peuvent suffire), donc en période estivale il est quasi obligatoire d'irriguer (Terres Inovia, 2019)</i>
Sol	<i>Sol profond et drainé (Agridea,2007)</i>	<i>pH<5/ sol superficiel/ Humifère (Agridea,2007)</i>	
Précédent	<i>Céréale qui se récolte tôt</i>	<i>Récolte tardive</i>	<i>Si le précédent est récolté trop tard, le semis du soja peut être compromis</i>
Enherbement	<i>Enherbement absent ou très limité</i>	<i>Enherbement trop présent</i>	<i>Le soja en dérobé est moins haut et moins ramifié donc il est moins concurrentiel vis-à-vis des adventices</i>
Maladie	<i>Limiter la présence de culture sensible dans la rotation</i>	<i>Sensibilité à la sclérotinia</i>	<i>Les variétés précoces ne sont pas encore assez étudiées vis-à-vis du sclérotinia (Terres Inovia, 2019)</i>
Densité de semis	<i>Densité plus élevée</i>	<i>Densité trop faible</i>	<i>Le soja dérobé ramifie moins qu'en culture principale. Attention tout de même, une densité plus élevée va nécessiter plus d'eau.</i>
Ecartement	<i>Ne pas dépasser 40cm</i>	<i>Ecartement trop important, >40cm</i>	

Annexe II : Blocs de questions posés dans l'enquête en ligne.

Bloc	Questions posées : réponses proposées
Informations générales	Code Postal
	Age : 18-24, 25-34, 35-49, 50-64, 65 et +
	Orientation de l'exploitation : céréalière, polyculture-élevage, autre
	Mode de production : agriculture biologique, conventionnel, autre
	Pratique(s) de travail du sol : labour systématique, labour occasionnel, TCS (Techniques Culturelles Simplifiées), Semis-direct, autres
	SAU (Surface Agricole Utile)
Avez-vous déjà mis en place une culture en relai, culture dérobée ou aucune ?	
Bloc	Questions posées : réponses proposées
Cultures dérobées	Cultures dérobées effectuées (précédent, dérobée, suivant, débouché)
	Quelles ont été les motivations quant à la mise en place de culture(s) dérobée(s) : motivation économique (pratique anticipée), motivation agronomique, opportunité (pratique pas courante), autre
	Facteurs de réussite : Irrigation ; Récolte précoce du précédent ; Semis dans les 72h de la dérobée ; Variété précoce de la dérobée ;Autres
	Facteurs d'échec : Stress hydrique (levée ou végétation); Stress thermique ; Adventices ; non récoltable (maturité non atteinte, parcelle inaccessible, problème de séchage, etc.) ; problèmes sanitaires en fin de cycle, rémanence de produits phytosanitaires ; Autres
	Appréciation générale
	Pratique à continuer ? : Oui ; Non
	Moyens de communication/information utilisés : Fiches techniques ; Conseillers agricoles ; Vidéos internet ; Réseaux sociaux ; Autres
Bloc	Questions posées : réponses proposées
Cultures relais	Cultures effectuées (culture « hôte », culture semée en relai, suivant, débouché)
	Quelles ont été les motivations quant à la mise en place de culture(s) en relais ? : Motivation économique, Motivation agronomique, Autre
	Facteurs de réussite : Irrigation, matériel, variété précoce pour la culture hôte, variété précoce pour la

	<p><i>culture « relai », écartement de la première culture, densité de la première culture, récolte précoce de la culture « hôte »</i></p> <p>Facteurs d'échec : <i>Date de semis de la culture « relai » (trop tôt ou trop tard) ; Stress hydrique (pendant la phase de croissance sous couvert et/ou après récolte de la culture « hôte » ; Matériel non adapté ; culture « hôte » gênant le développement de la seconde (trop de résidus, trop tardive) ; Ecartement de la culture hôte trop « étroit » ; Densité de la culture « hôte » trop élevée ; Produits phytosanitaires non homologués pour les deux cultures ; Gestion des adventices ; Rémanence de produits phytosanitaires ; Autres</i></p> <p>Appréciation générale</p> <p>Pratique à continuer ? <i>Oui ; Non</i></p> <p>Moyens de communication/information utilisés : <i>Fiches techniques ; Conseillers agricoles ; Vidéos internet ; Réseaux sociaux ; Autres</i></p>
Bloc	Questions posées : réponses proposées
Pas de culture dérobée ou relai	<p>Freins constatés : <i>Manque d'information ; techniques trop chronophages ; Matériel non adapté ; Irrigation non disponible ; Coût trop élevé ; Filière(s) pas assez développée(s)</i></p> <p>Pratique envisagée ? : <i>Oui ; Non</i></p> <p>Moyens de communication/information vers lesquels se tourner pour ce type de pratique : <i>Fiches techniques ; Conseillers agricoles ; Vidéos internet ; Réseaux sociaux ; Autres</i></p>