

Étude prospective de la faisabilité technique et de l'intérêt économique, agronomique et environnemental de cultiver trois cultures en deux ans dans le contexte pédoclimatique de Nouvelle-Aquitaine

Nicolas Ferrand

▶ **To cite this version:**

Nicolas Ferrand. Étude prospective de la faisabilité technique et de l'intérêt économique, agronomique et environnemental de cultiver trois cultures en deux ans dans le contexte pédoclimatique de Nouvelle-Aquitaine. Sciences du Vivant [q-bio]. 2018. dumas-01959526

HAL Id: dumas-01959526

https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01959526

Submitted on 18 Dec 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

AGROCAMPUS OUEST

☐ **CFR Angers**

☑ **CFR Rennes**

Année universitaire : 2017 - 2018

Spécialité :

Amélioration, Production et Valorisation du Végétal

Spécialisation :

Fonctionnement et Gestion des Agrosystèmes

Mémoire de Fin d'Études

☐ d'Ingénieur de l'Institut Supérieur des Sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage

☑ de Master de l'Institut Supérieur des Sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage

☐ d'un autre établissement (étudiant arrivé en M2)

Étude prospective de la faisabilité technique et de l'intérêt économique, agronomique et environnemental de cultiver trois cultures en deux ans dans le contexte pédoclimatique de Nouvelle-Aquitaine

Par : Nicolas FERRAND

Rapport non confidentiel



Soutenu à Rennes le 28/06/2018

Devant le jury composé de :

Président : C. Bissuel

Maître de stage : S. Minette

Enseignant référent : O. Godinot

Rapporteur : V. Parnaudeau

Les analyses et les conclusions de ce travail d'étudiant n'engagent que la responsabilité de son auteur et non celle d'AGROCAMPUS OUEST

Ce document est soumis aux conditions d'utilisation
« Paternité-Pas d'Utilisation Commerciale-Pas de Modification 4.0 France »
disponible en ligne http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.fr

Confidentialité

☑ Non ☐ Oui si oui : ☐ 1 an ☐ 5 ans ☐ 10 ans

Pendant toute la durée de confidentialité, aucune diffusion du mémoire n'est possible [1].

Date et signature du maître de stage [2] :

02.07.2018

A la fin de la période de confidentialité, sa diffusion est soumise aux règles ci-dessous (droits d'auteur et autorisation de diffusion par l'enseignant à renseigner).

Droits d'auteur

L'auteur[3] **Ferrand Nicolas**

autorise la diffusion de son travail (immédiatement ou à la fin de la période de confidentialité)

☑ Oui ☐ Non

Si oui, il autorise

☐ la diffusion papier du mémoire uniquement(4)

☐ la diffusion papier du mémoire et la diffusion électronique du résumé

☑ la diffusion papier et électronique du mémoire (joindre dans ce cas la fiche de conformité du mémoire numérique et le contrat de diffusion)

(Facultatif) ☑ accepte de placer son mémoire sous licence Creative commons CC-By-Nc-Nd (voir Guide du mémoire Chap 1.4 page 6)

Date et signature de l'auteur : 29/06/2018

Autorisation de diffusion par le responsable de spécialisation ou son représentant

L'enseignant juge le mémoire de qualité suffisante pour être diffusé (immédiatement ou à la fin de la période de confidentialité)

☐ Oui ☐ Non

Si non, seul le titre du mémoire apparaîtra dans les bases de données.

Si oui, il autorise

☐ la diffusion papier du mémoire uniquement(4)

☐ la diffusion papier du mémoire et la diffusion électronique du résumé

☐ la diffusion papier et électronique du mémoire

Date et signature de l'enseignant :

(1) L'administration, les enseignants et les différents services de documentation d'AGROCAMPUS OUEST s'engagent à respecter cette confidentialité.

(2) Signature et cachet de l'organisme

(3).Auteur = étudiant qui réalise son mémoire de fin d'études

(4) La référence bibliographique (= Nom de l'auteur, titre du mémoire, année de soutenance, diplôme, spécialité et spécialisation/Option)) sera signalée dans les bases de données documentaires sans le résumé

Dépôt numérique de mémoire

ATTESTATION DE CONFORMITE DE LA VERSION NUMERIQUE

Je, soussigné(e),

Nom : Ferrand

Prénom : Nicolas

Ci-après désigné « l'Auteur »

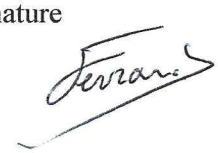
Atteste que la version numérique de mon mémoire de fin d'études dans sa version définitive (incluant les corrections demandées par le jury de soutenance),

Intitulé :

Étude prospective de la faisabilité technique et de l'intérêt économique, agronomique et environnemental de cultiver trois cultures en deux ans dans le contexte pédoclimatique de Nouvelle-Aquitaine

correspond à la version imprimée du document, déposé à la bibliothèque générale d'AGROCAMPUS OUEST (CFR de référence).

A Lusignan le 29/06/2018 Signature



Dépôt numérique de mémoire

CONTRAT DE DIFFUSION NUMERIQUE DE MEMOIRE

Entre
AGROCAMPUS OUEST, Institut supérieur des sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage dont le siège est basé 65 rue de Saint-Brieuc, 35042 RENNES, représenté par son Directeur Général, Grégoire THOMAS
et
L'auteur du mémoire :

Nom : Ferrand
Prénom : Nicolas
Adresse personnelle : INRA Le Chêne, 86 600 Lusignan

Intitulé du mémoire :

Étude prospective de la faisabilité technique et de l'intérêt économique, agronomique et environnemental de cultiver trois cultures en deux ans dans le contexte pédoclimatique de Nouvelle-Aquitaine

Ci-après désigné auteur,

Article 1
Le présent contrat ne concerne que les mémoires de fin d'études des cursus de formation d'AGROCAMPUS OUEST, déposés suite à la soutenance dans leur version validée par le jury. La diffusion de ces mémoires est conditionnée au visa du responsable de spécialisation/ option, garantissant la prise en compte de l'avis du jury.

Article 2
L'auteur autorise AGROCAMPUS OUEST à diffuser le mémoire sur le site Internet de l'établissement ou sur les plateformes choisies par AGROCAMPUS OUEST en conformité avec la fiche de diffusion correspondante. Le présent contrat a pour objet de permettre à AGROCAMPUS OUEST de diffuser le mémoire dans le respect des droits de propriété intellectuelle de son auteur.
Le présent contrat n'implique pas l'obligation pour AGROCAMPUS OUEST de faire usage de l'autorisation qui lui est donnée. La diffusion effective, tout comme son éventuelle suppression, n'implique en aucun cas une appréciation au bénéfice de l'auteur ou des tiers et n'est pas source de responsabilité à l'égard des tiers.

Article 3
L'auteur demeure responsable du contenu de son œuvre. L'auteur garantit à AGROCAMPUS OUEST qu'il détient tous les droits nécessaires à la diffusion de son œuvre, en particulier les autorisations écrites des titulaires des droits sur les œuvres reproduites, partiellement ou intégralement. En cas de non-respect de cette clause, AGROCAMPUS OUEST se réserve le droit de refuser, suspendre ou arrêter la diffusion des parties du mémoire intégrant des documents ou parties de documents pour lesquels les droits de reproduction et de représentation n'auraient pas été acquis.
AGROCAMPUS OUEST ne pourra être tenu responsable de représentations illégales de documents, pour lesquels l'auteur n'aurait pas signalé qu'il n'en avait pas acquis les droits.

Article 4
L'auteur pourra à tout moment retirer l'autorisation de diffusion qu'il accorde par le présent contrat. Pour cela, il devra en aviser formellement AGROCAMPUS OUEST par lettre recommandée avec accusé de réception. AGROCAMPUS OUEST aura alors l'obligation de retirer l'œuvre lors de la plus prochaine actualisation du site de l'établissement et du portail documentaire.

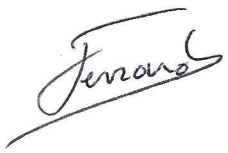
Article 5
L'auteur autorise AGROCAMPUS OUEST à procéder, le cas échéant, au reformatage de son mémoire en vue de l'archivage, de la diffusion ou de la communication dans le respect des autorisations de diffusion définies par lui précédemment.

Article 6
Les autorisations de diffusion données à AGROCAMPUS OUEST n'ont aucun caractère exclusif et l'auteur conserve toutes les autres possibilités de diffusion de son mémoire.

Article 7
L'auteur autorise, à titre gracieux, la cession des droits de diffusion, concernant le mémoire qui lui appartient. Cette autorisation, dans la durée maximale définie par le droit patrimonial, est strictement réservée à la diffusion du mémoire à des fins pédagogiques et de recherche.
Fait à, Lusignan le 29/06/2018

Pour AGROCAMPUS OUEST, CFR Rennes
Pour Le Directeur Général

L'auteur,



Remerciements

Mes remerciements vont en premier lieu à mon maître de stage : Sébastien MINETTE. Je le remercie de m'avoir accordé sa confiance pendant ces 6 mois de stage qui clôturent mes études. Je le remercie également pour tous ses conseils, remarques et idées toujours constructives. J'ai pu travailler sur un sujet innovant, passionnant et parcourir la région de Poitou-Charentes dans tous ses recoins.

Je remercie également Jean-Luc FORT, directeur du service Recherche, Développement, Innovation pour ses conseils et ses idées pour le bon déroulement de cette étude.

Mes remerciements vont aussi à tous les agriculteurs, conseillers et chercheurs qui ont accepté de prendre de leur temps pour répondre à mes questions et partager leurs connaissances. Sans eux la rédaction de ce mémoire n'aurait pas été possible.

Je remercie l'ensemble du personnel des Verrines (Institut de l'Élevage, INRA et GEVES) pour leur accueil chaleureux, et l'ambiance au café et tous les midis.

Je remercie Honorine et Laurine, équipe stagiaire « caprins » pour la super ambiance qu'elles ont amené dans le bureau dès la fin de l'hiver. Ambiance qui va d'ailleurs durer 2 mois de plus ! Promis j'essayerai de parler moins fort au téléphone !!

Mes remerciements vont également à tous les collègues stagiaires de la formidable coloc, que j'ai vu arriver puis repartir durant ces 6 mois. Mentions spéciales à Arthur, Esteban, Marie, Marion, Virginie et Yona, qui ont fait accélérer (un peu trop) le temps pendant mon stage.

Enfin, je remercie mon tuteur de stage, Olivier GODINOT pour ces conseils et remarques pour la rédaction de ce mémoire. Je remercie également tout le personnel et mes collègues d'Agrocampus Ouest et de l'Université de Rennes 1 pour ces deux années de Master durant lesquelles j'ai tant appris.

Table des matières

Table des figures
Table des tableaux
Liste des abréviations
1 Introduction 1
2 Contexte 2
2.1 L'agriculture de Nouvelle-Aquitaine 2
2.1.1 Orientation technico-économique des exploitations 2
2.1.2 Situation économique actuelle des exploitations 3
2.1.3 Rôle de la CRA de Nouvelle-Aquitaine 3
2.2 Contexte réglementaire 4
2.2.1 La directive nitrate 4
2.2.2 Cultures dérobées et CIPAN 4
2.3 Situation pédoclimatique de la région 5
2.3.1 Les sols 5
2.3.2 Climat actuel et évolution future 5
2.4 Les cultures dérobées en France et dans le monde 6
2.5 Problématique 7
3 Matériels et méthodes 8
3.1 Sources d'information et outils de collecte 8
3.2 Conception des cas-types 8
3.2.1 Choix des cultures 8
3.2.2 Synthèse des itinéraires techniques recueillis 9
3.3 Évaluation des cas-types 9
3.3.1 Étude climatique : construction de l'arbre de décision 9
3.3.2 Quels indicateurs de performance pour évaluer les cas-types ? 11
4 Résultats 13
4.1 Choix des cultures candidates 13
4.2 Constitution des cas-types 13
4.2.1 Présentation de l'échantillon 13
4.2.2 Analyse des ITK et expériences individuelles 14
4.2.3 Les cas-types choisis 14
4.3 Étude climatique 15
4.3.1 Choix des données météorologiques 15
4.3.2 Connaissances sur les critères de réussite 16
4.3.3 Arbre de décision 16
4.3.4 Fréquence de réussite 17
4.4 Performance économique 17
4.4.1 Étude économique annuelle 17
4.4.2 Étude pluriannuelle avec le risque climatique 18
4.4.3 Rémunération de travail 18
4.5 Performance environnementale 19
4.5.1 Efficacité du piégeage de l'azote 19
4.5.2 Utilisation des produits phytopharmaceutiques 19
4.6 Impacts agronomiques 19
5 Discussion 20
5.1 Discussion de la méthode 20
5.2 Discussion des résultats 21
5.3 Perspectives 22
6 Conclusion 23
Bibliographie
Sitographie

Liste des Figures

Figure 1 : Carte de la répartition des grandes cultures en Nouvelle-Aquitaine, ... 1
Figure 2 : Carte de l'orientation technico-économique des communes du Poitou-Charentes..... 1
Figure 3 : Évolution du prix de vente, en €/q, des céréales et oléo-protéagineux entre 1997 et 2016 ... 2
Figure 4 : Évolution du RCAI moyen par Utans par orientation productive, en milliers d'euros 2
Figure 5 : Carte des zones vulnérables de Nouvelle-Aquitaine au 02 février 2017 3
Figure 6 : Pédopaysages de Poitou-Charentes 4
Figure 7 : Moyenne annuelle de référence 1981-2010 des précipitations Poitou-Charentes 4
Figure 8 : Cumul des pluies d'avril à septembre de 1999 à 2016 par rapport à la normale 1981/2010 pour 4 stations climatiques de Poitou-Charentes : Cognac, La Rochelle, Niort, Poitiers 4
Figure 9 : Anomalie de cumul des précipitations en Nouvelle-Aquitaine : écart entre la période considérée et la période de référence 1978-2005 pour le scénario sans politique climatique (RCP8.5). 5
Figure 10 : Relay Cropping et double culture 5
Figure 11 : Schéma de la méthodologie mise en œuvre pour la conception des cas-types et leur évaluation économique, environnementale et agronomique 6
Figure 12: Schéma de la démarche d'élaboration de l'arbre de décision de la réussite de la culture 8
Figure 13: Équation de la somme des degrés-jours..... 9
Figure 14 : Schéma de la position des indicateurs choisis pour chaque critère..... 9
Figure 15 : Équation du calcul de la Marge Brute (MB)..... 10
Figure 16 : Équations de calcul de la Marge Semi-nette (MSN)..... 10
Figure 17 : Équation du rendement seuil de rentabilité annuel 11
Figure 18 : Équation du rendement seuil de rentabilité pluriannuel en q/ha (RSP), ... 11
Figure 19 : Graphique exemple présentant le rendement à obtenir une année de réussite 11
Figure 20 : Équation de la rentabilité du temps de travail..... 11
Figure 21 : Équation du calcul de l'indice de fréquence de traitement (IFT)..... 11
Figure 22 : Répartition des 40 exploitations de NA selon la SAU..... 12
Figure 23 : Proportion d'agriculteurs en Semis Direct (SD), Techniques Culturales Simplifiées (TCS) et labour, en NA 12
Figure 24 : Nombre d'exploitants par catégorie de nombre de cultures (hors CIPAN, dérobées, prairies) en NA 12
Figure 25 : Proportion d'agriculteurs par culture dérobée implantée en 2016 et 2017 en Nouvelle-Aquitaine 12
Figure 26 : Proportion de chaque précédent cultural du sarrasin parmi les 68 expériences des agriculteurs (enquête 2018) 13
Figure 27 : Rendement moyen du sarrasin (normé à 15 % d'humidité) par année et par précédent cultural, enquêtes 2016 et 2018 13
Figure 28 : Différences de cumuls de pluviométrie et de degrés jours (DJ) base 6 °C, entre les périodes 2004-2017 et 1990-2003, pour les 6 stations climatiques de Poitou-Charentes. 14
Figure 29 : Arbre de décision pour l'estimation du rendement du sarrasin en fonction des conditions climatiques 15
Figure 30 : Arbre de décision du décalage ou non de la date de semis jusqu'au prochain jour de pluie 15
Figure 31 : Fréquence de réussite potentielle déterminée avec l'arbre de décision sur la période 1990-2017 pour les 6 stations climatiques et pour une date de semis réelle au 5 juillet 16
Figure 32 : Évolution de la fréquence de réussite en fonction de la date de semis 16
Figure 33 : Marges Brutes (MB), semi-nette (MSN) et semi-nette avec prise en compte du coût d'une CIPAN (MSN CIPAN), pour les 7 cas-types (tab. 7) en €/ha 16
Figure 34 : Graphiques comparant le rendement seuil annuel (RSA) et le rendement seuil pluriannuel (X de l'arbre de décision)..... 17
Figure 35 : Graphiques présentant le rendement seuil pluriannuel (X) pour différentes situations sur les stations de Lusignan et Thouars et pour le cas-type OH-T-SD 17
Figure 36 : Rémunération du travail pour chaque cas-type en €/ha pour 2 situations de rendement :. 18
Figure 37 : Efficacité du piégeage de l'azote pour les 7 cas-types en % du Reliquat Début Drainage d'un sol nu..... 18

Liste des Tableaux

Tableau 1 : Surfaces et rendements des grandes cultures en Poitou-Charentes, et évolution des surfaces par rapport à 2014 1
Tableau 2 : Comparaison de la réglementation entre CIPAN et culture dérobée pour les départements du Poitou-Charentes 4
Tableau 3 : Sources d'informations de l'étude 7
Tableau 4 : Liste des informations demandées aux agriculteurs..... 7
Tableau 5 : Liste des indicateurs étudiés pour chaque critère..... 9
Tableau 6 : Analyse des informations qualitatives des expériences en sarrasin relevées 13
Tableau 7 : Cas-types retenus après l'analyse des expériences des agriculteurs et utilisés pour l'évaluation multicritères..... 14
Tableau 8 : Besoins en degrés jours (DJ) en base 6°C du sarrasin pour atteindre chaque stade, utilisés pour l'analyse climatique 15

Liste des abréviations

AC : Agriculture de Conservation
ACP : Analyse à Composantes Principales
CIPAN : Culture Intermédiaire Piège à Nitrates
COP : Céréales Oléo-Protéagineux
CRA NA : Chambre Régionale d'Agriculture de Nouvelle-Aquitaine
DJ : Degrés jours
DRAAF : Direction Régionale de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Forêt
DREAL : Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement
ETP : Évapotranspiration Potentielle
FAO : Food and Agriculture Organization of the United Nations
IFT : Indice de Fréquence de Traitement
ITK : Itinéraire Technique
MB : Marge Brute
MSN : Marge Semi-Nette
RCAI : Résultat Courant Avant Impôts
RDD : Reliquat Début Drainage
REH : Reliquat Entrée Hiver
RPDE : Réseau Partenarial des Données sur l'Eau
RR : Rain Rate : Hauteur des précipitations
RSA : Rendement Seuil Annuel
SAU : Surface Agricole Utile
SD : Semis Direct
SDCV : Semis Direct sous Couvert Végétal
TCS : Techniques Culturales Simplifiées

1 Introduction

L'agriculture du 21ème siècle doit relever le défi de nourrir l'humanité tout en préservant l'environnement et en s'adaptant au changement climatique. Les exploitations agricoles tentent de répondre aux enjeux de la durabilité et recherchent la triple performance économique, environnementale et sociale. De plus, pour faire face à la concurrence mondiale, une agriculture compétitive est requise. Par conséquent, d'après le Rapport Innovation 2025 il faut rechercher une « compétitivité durable » (Bournigal *et al*., 2015).

Associer la protection de l'environnement et la productivité nécessite des adaptations au niveau du système de production ce qui peut prendre du temps pour les exploitants. Cependant il est possible d'intensifier écologiquement les systèmes en valorisant davantage des processus naturels et des services des écosystèmes (Bonny, 2010 ; Tittonell, 2014).

Diversifier les cultures de la rotation et maximiser le temps de couverture des sols durant les périodes où ils seraient nus et donc sensibles à la perte d'éléments minéraux, sont des leviers possibles d'intensification écologique (Gurr *et al*., 2016 ; Médiène, 2011). En France, la mise en place de Cultures Intermédiaires Pièges à Nitrates (CIPAN) obligatoires par la « Directive nitrates » a déjà permis de généraliser la couverture des sols. Par ailleurs les exploitations agricoles se trouvent actuellement dans un contexte économique rendu difficile du fait de la volatilité des prix des cultures de rente principales, de la plus grande fluctuation de leurs revenus (Agreste, 2017), et du changement climatique.

Depuis les années 2010, certains agriculteurs de Nouvelle-Aquitaine cherchent à transformer les contraintes réglementaires (couverture du sol) en opportunités en implantant une culture dérobée, potentiellement récoltable en grains (notamment du sarrasin, *Fagopyrum esculentum* M.). Cette pratique, bien qu'elle ne soit pas nouvelle, pourrait avoir un fort intérêt pour répondre aux enjeux précédemment cités et pour accroitre la résilience des exploitations, soit leur capacité à retrouver leurs structures et fonctions initiales après une perturbation (Tomich *et al*., 2011).

Dans ce contexte, la Chambre Régionale d'Agriculture de Nouvelle-Aquitaine (CRA NA) souhaite évaluer avec une étude prospective, la faisabilité technique et l'intérêt économique, agronomique et environnemental de cultiver et récolter en graines 3 cultures en 2 ans dans les contraintes pédoclimatiques de la région. Les récoltes de fourrages ne font pas partie de l'étude car elles sont beaucoup plus courantes, en particulier chez les éleveurs. Cette étude vise à compléter les références et connaissances acquises en 2016 (Callewaert, 2016). Elle doit permettre d'objectiver l'intérêt ou non pour les agriculteurs de mettre en œuvre cette pratique sur leurs exploitations. Cela passe par une évaluation multicritère (critères agronomiques, économiques et environnementaux) et une estimation de la « probabilité de réussite » vis-à-vis des aléas climatiques.

Cette étude s'intéressera tout d'abord au contexte agricole, réglementaire et pédoclimatique de la région. Suivra, un point bibliographique sur les cultures dérobées envisageables. Dans un second temps, la méthodologie utilisée pour l'acquisition des données et l'analyse des résultats sera présentée. Ensuite, les résultats permettront de voir si les critères retenus sont respectés et dans quelle mesure. Ceux-ci, ainsi que la méthode seront finalement discutés afin de conclure sur les perspectives de développement de cette pratique et les connaissances qui sont encore à acquérir pour sa mise en œuvre.

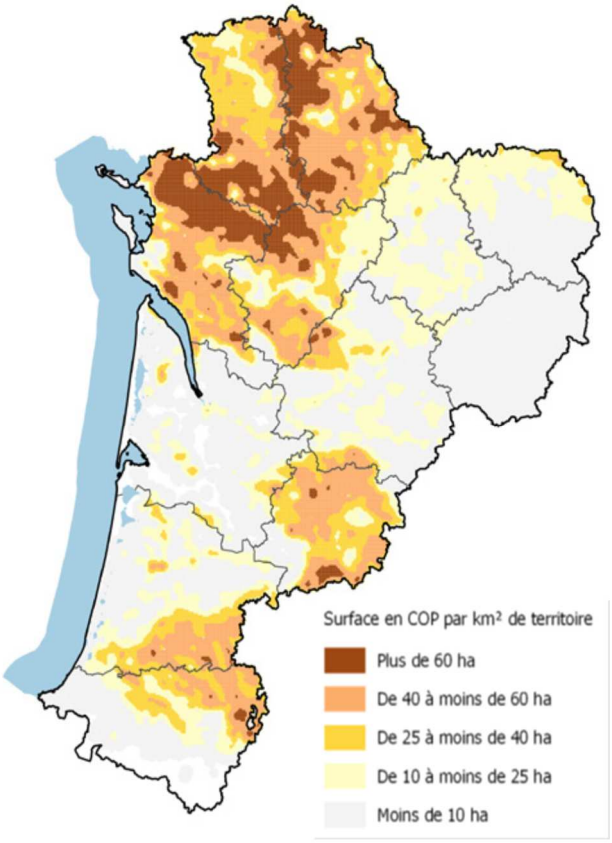


Figure 2 : Carte de la répartition des grandes cultures en Nouvelle-Aquitaine, en ha de COP par km² de territoire. *(Source : Agreste d'après l'Agence de Services et de Paiement (ASP), 2015)*

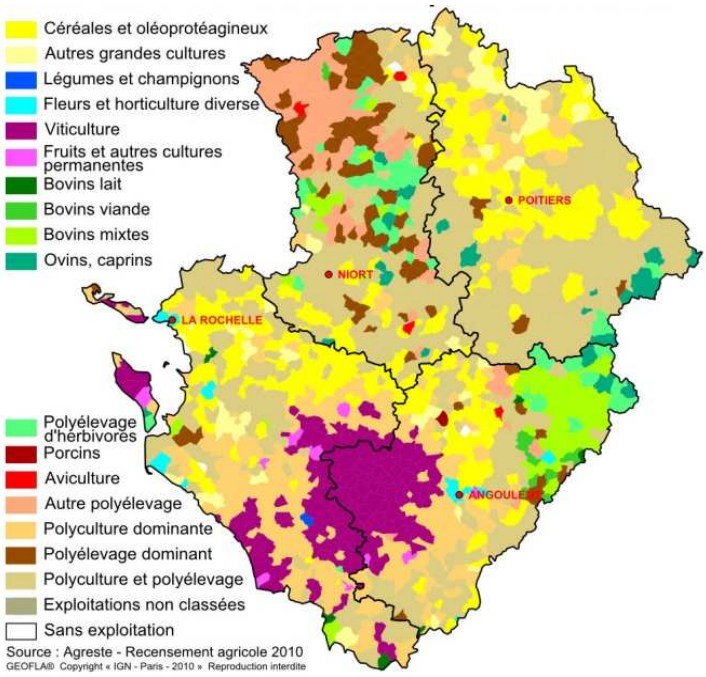


Figure 1 : Carte de l'orientation technico-économique des communes du Poitou-Charentes *(Source : Agreste, 2010)*

Tableau 1 : Surfaces et rendements des grandes cultures en Poitou-Charentes, et évolution des surfaces par rapport à 2014 *(Source : d'après données Agreste, 2015 et 2017)*

Cultures	Surfaces en 2016 (ha)	Évolution des surfaces par rapport à 2014 (%)	Rendement moyen en 2016 (q/ha)
Céréales	785 995	0	
Blé tendre	396 395	0	57
Blé dur	60 070	+128	45
Orge d'hiver	101 310	+17	58
Orge de printemps	15 650	-29	59
Avoine	4 540	-10	33
Maïs (grain et semences)	165 135	-22	71
Dont irrigué	68 420	-21	99
Sorgho	3 780	-30	40
Triticale	25 280	-9	39
Autres céréales et mélanges	13 835	+57	
Oléagineux	253 090	-2	
Colza	116 676	+19	32
Tournesol	128 820	-18	20
Soja	3 855	+217	21
Autres oléagineux	3 739	+149	
Protéagineux	27 060	+34	
Féveroles	2 580	+40	19
Pois protéagineux	20 505	+25	35
Lupin doux	3 975	+98	21

2 Contexte

2.1 L'agriculture de Nouvelle-Aquitaine

2.1.1 Orientation technico-économique des exploitations

La Nouvelle-Aquitaine est, depuis 2016, la région regroupant le Poitou-Charentes, le Limousin et l'Aquitaine. Elle est devenue la 1ère région agricole française avec une Surface Agricole Utile (SAU) des exploitations représentant 15 % de la SAU nationale (Agreste, 2017 (2)). L'élevage concerne plus de la moitié des exploitations agricoles, tandis qu'un quart cultivent exclusivement des grandes cultures (Agreste, 2012). Les élevages bovins et ovins sont concentrés dans les départements du Limousin et dans les Pyrénées-Atlantiques. Les élevages de caprins se situent cependant au nord de la région, en Vienne et Deux-Sèvres. En productions végétales, la Nouvelle-Aquitaine est classée première en surface de vergers et les productions légumières sont aussi très présentes. La région est très viticole puisque 16 % de ses exploitations sont concernées, réparties dans les vignobles bordelais et charentais (Agreste, 2012).

Entre tous ces bassins spécialisés ce sont les grandes cultures qui sont prédominantes en couvrant 44 % de la SAU (Agreste, 2017 (2)). Elles sont tout de même concentrées dans l'ancienne Poitou-Charentes, dans le Lot-et-Garonne et dans le sud de la région comme le montre la répartition des surfaces en Céréales et Oléo-protéagineux (COP) (fig. 1). Le blé tendre et le maïs sont les deux cultures prépondérantes de la région et représentent ensemble 58 % des surfaces en COP. En oléagineux la région est la première productrice de tournesol qui occupe 11 % des surfaces en COP en 2016 (Agreste, 2017 (2)).

Dans la suite de l'étude, nous nous intéresserons plus particulièrement au nord de la région (ex Poitou-Charentes), zone où les grandes cultures sont majoritaires et où les agriculteurs sont le plus susceptibles d'implanter des cultures dérobées en récolte graine. L'orientation technico-économique des communes de la région est présentée ci-contre (fig. 2). Les surfaces et rendements des COP sont détaillés dans le tableau 1. En 2016, les rendements sont particulièrement faibles du fait de la forte pluviométrie du printemps et du manque d'eau l'été.

Entre 1990 et 2016 les surfaces en céréales ont augmenté de 6 % tandis que celles en protéagineux ont diminué de 33 % (DRAAF NA, 2018). Les oléagineux sont restés stables. Cependant, entre 2014 et 2016 la surface en céréales est stable (tab. 1). Celle-ci est néanmoins en diminution de 4 % en 2017 par rapport à 2016 (CRA NA, 2017). Par ailleurs les surfaces en maïs sont en régression au profit d'une très forte augmentation des surfaces de blé dur. Le tournesol est également de moins en moins présent bien qu'il reste une culture majeure. Il est remplacé par le colza et le soja. Les cultures protéagineuses se redéveloppent légèrement, notamment le pois protéagineux, probablement grâce aux plans de relance de ses dernières années et à la chute des prix de vente des céréales. L'agriculture biologique occupe en 2016 4,8 % de la SAU de Nouvelle-Aquitaine. La surface a triplé depuis 2007 (Agence BIO, 2017).

Parallèlement à ces évolutions, le Semis Direct (SD) ainsi que les Techniques Culturales Simplifiées (TCS) se sont beaucoup développés (CRA Poitou-Charentes, 2014). De surcroit, la pratique de l'Agriculture de Conservation (AC) avec le Semis Direct sous Couvert Végétal (SDCV) se propage mais de façon difficilement évaluable et reste minoritaire contrairement à d'autres pays (Laurent, 2015). Elle se base, d'après l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), sur trois principes :

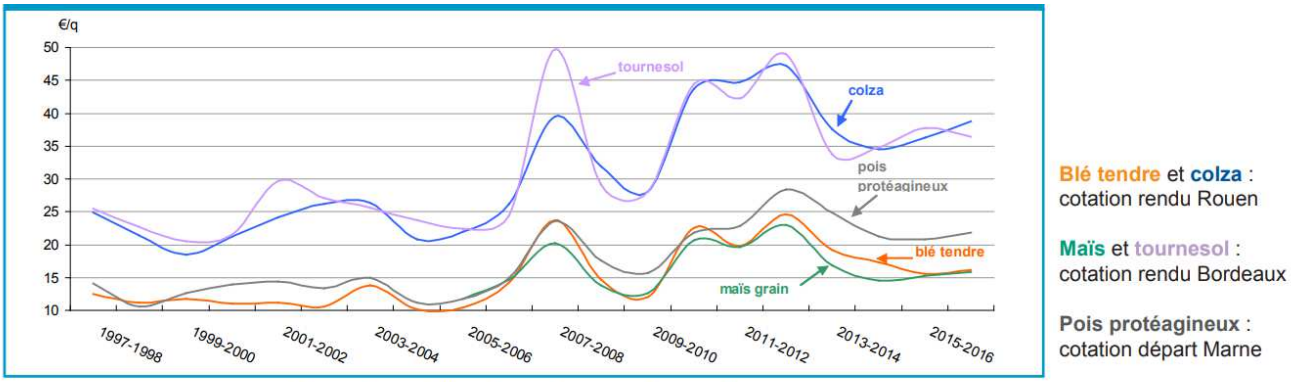


Figure 3 : Évolution du prix de vente, en €/q, des céréales et oléo-protéagineux entre 1997 et 2016 *(Source : Agreste Bulletin mensuel : cotations mensuelles)*

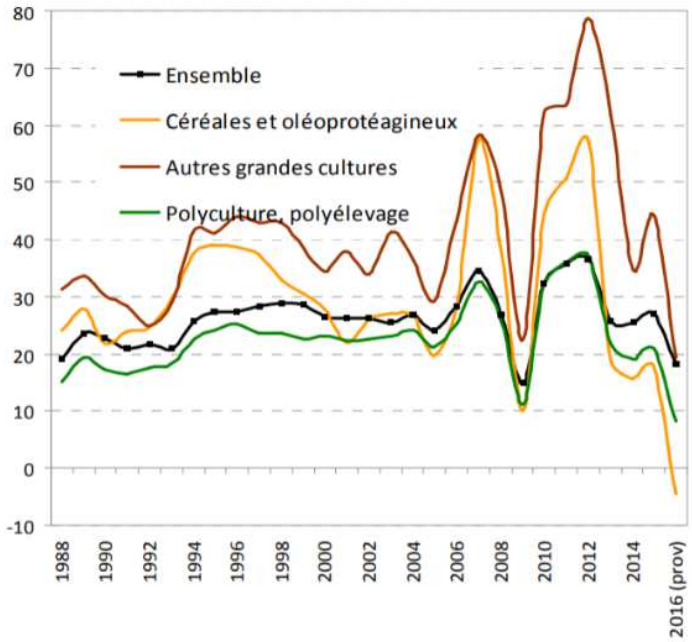


Figure 4 : Évolution du RCAI moyen par Utans par orientation productive, en milliers d'euros *(Source : Agreste, 2016)*

- Perturbation mécanique minimale et continue du sol
- Couverture organique permanente du sol
- Diversification des espèces cultivées (FAO, 2018)

Les couverts utilisés avec cette technique peuvent être des cultures dérobées.

La plupart des rotations culturales de la région sont constituées de 3 ou 4 cultures. Celles retrouvées le plus fréquemment sont :

- Colza – Blé tendre – Orge d'hiver ou Blé tendre
- Colza – Blé tendre ou Blé dur – Tournesol – Blé tendre ou Orge d'Hiver
- Tournesol – Blé tendre – Maïs grain – Blé tendre (CRA NA, 2017 (2))

Elles sont peu diversifiées et comportent une grande proportion de céréales d'hiver et peu de cultures de printemps. L'orge de printemps et le pois de printemps peinent à se développer à cause du manque d'eau et des températures élevées durant les mois d'avril à juin qui impactent lourdement les rendements de ces cultures.

Pourtant de nombreuses études ont démontré que diversifier les cultures apportent des bénéfices certains pour soutenir à la fois la production et les services écosystémiques, et ainsi intensifier durablement les systèmes (Isbell *et al.*, 2017). Les freins à ce levier agronomique se trouvent à tous les niveaux du système agro-industriel. Tous les acteurs doivent donc être mobilisés pour opérer ces changements (Bonny, 2010 ; Meynard *et al.*, 2013).

Le pois étant une des premières cultures récoltées en été, l'interculture qui suit est longue. Intégrer une culture dérobée durant celle-ci pourrait permettre de compléter les marges économiques souvent faibles pour cette culture et ainsi encourager son développement. L'orge d'hiver est également récoltée très tôt, avant le blé tendre ou le blé dur (FranceAgriMer, 2018).

2.1.2 Situation économique actuelle des exploitations

Les prix de vente des céréales et oléo-protéagineux fluctuent beaucoup plus depuis 2006, comme le montre la figure 3, et dépendent du marché mondial (DRAAF NA, 2018). Par conséquent les revenus des agriculteurs subissent également de plus grandes variations. Les cours ont fortement chuté entre 2012 et 2016. Les résultats économiques subissent ces variations, auxquelles s'ajoutent les éventuelles pertes dues au climat. La figure 4 montre une forte chute du Résultat Courant Avant Impôt (RCAI) par unité de travail non salarié (Utans) à partir 2013. Cette baisse est plus importante pour les exploitations spécialisées en COP. 2016 a été une année particulièrement difficile à cause des accidents météorologiques et des prix de vente qui sont restés bas (Agreste, 2017 (3)).

Les exploitations agricoles cherchent donc à améliorer leur marge économique. Cela peut passer soit par la réduction des charges opérationnelles et de structure, soit par stabilisation des revenus en diversifiant les activités, et notamment les cultures. Les cultures dérobées récoltées en grains pourraient être une solution intéressante pour ces exploitations céréalières, leur permettant de répondre aux enjeux de couverture des sols et de rentabilité.

2.1.3 Rôle de la CRA de Nouvelle-Aquitaine

Une des principales missions des Chambres d'Agriculture est d'après le Code rural de : « Contribuer à l'amélioration de la performance économique, sociale et environnementale des exploitations agricoles et de leurs filières » (Chambres d'Agriculture FRANCE, 2014). Pour cela la CRA NA étudie les innovations en agriculture. Elle met en œuvre des programmes de recherche et développement sur l'évaluation des systèmes de culture, les

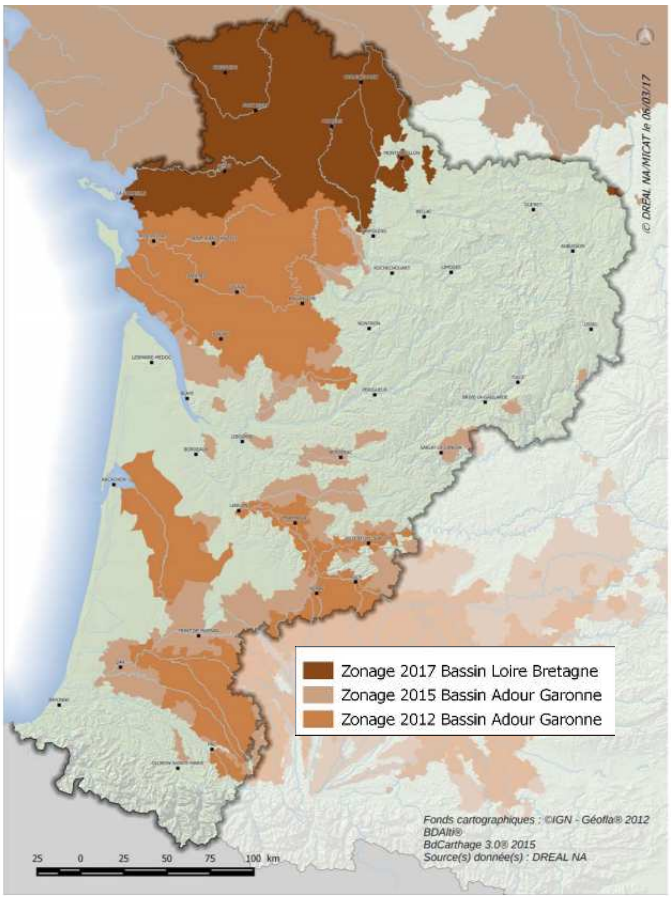


Figure 5 : Carte des zones vulnérables de Nouvelle-Aquitaine au 02 février 2017 *(Source : DREAL Nouvelle-Aquitaine, 2017)*

Tableau 2 : Comparaison de la réglementation entre CIPAN et culture dérobée pour les départements du Poitou-Charentes *(Source : d'après DREAL Nouvelle-Aquitaine, 2017)*

	CIPAN	Culture dérobée
Intérêt principal	Piégeage de l'azote	Culture à cycle court
Récolte ou pâturage	Non	Oui
Implantation et destruction	Durée de 2 mois et destruction après le 15/11	Implantation d'une CIPAN si récolte avant le 15/10
Fertilisation type I et II	Dans la limite de 50 ou 70 kg d'azote efficace (en fonction de la culture suivante)	
Fertilisation type III	Interdite	Autorisés à l'implantation de la culture en fonction de ses besoins
Plan prévisionnel de fertilisation	Non	Oui, en cas d'épandage de fertilisants azotés de type III

itinéraires techniques innovants et sur les couverts végétaux. Cette étude fait donc partie de ce dernier volet qui a une grande importance dans le contexte réglementaire et les enjeux environnementaux actuels.

2.2 Contexte réglementaire

2.2.1 La directive nitrate

La lutte contre les pollutions par les nitrates a débuté en 1991 avec la « Directive nitrates ». Depuis six programmes d'actions se sont succédés avec pour objectifs de réduire la pollution des eaux superficielles et souterraines par les nitrates, de limiter l'eutrophisation issus des activités agricoles, ainsi que de prévenir l'extension de ces pollutions. Le sixième est en cours de discussion (2017-2018) et se veut être une révision des programmes d'actions régionaux de 2014. Ces programmes d'actions sont appliqués dans les zones vulnérables, c'est-à-dire qui sont sensibles aux pollutions par les nitrates. En Nouvelle-Aquitaine, les régions de grandes cultures d'ex Poitou-Charentes et d'une partie de l'Aquitaine sont concernées (fig. 5).

Comme dans les programmes précédents, un des axes est la mise en place d'une « Couverture des sols pour limiter les fuites d'azote au cours de périodes pluvieuses ». En effet, les nitrates ont un risque élevé d'être lixiviés durant les périodes pluvieuses d'automne et d'hiver. Cela est causé par le reliquat azoté de la culture précédente, et la minéralisation à la fin de l'été favorisée par la pluie et des fortes températures. L'implantation d'un couvert végétal entre deux cultures principales permet d'immobiliser temporairement l'azote sous forme organique et donc d'éviter que les nitrates soient entrainés avec la lame drainante (ARVALIS Institut du Végétal, 2017).

En zone vulnérable la couverture des sols est par conséquent obligatoire durant les intercultures longues (entre une culture récoltée en été, et une culture implantée après le début de l'hiver) et courtes (entre un colza et un semis d'automne). Il existe néanmoins des exceptions dépendant du type de sol, de la date de récolte de la culture précédente ou encore des techniques culturales utilisées (DREAL Nouvelle-Aquitaine, 2018).

En fonction du système de culture de l'agriculteur, cette couverture obligatoire peut être obtenue par l'implantation d'une Culture Intermédiaire Piège à Nitrates (CIPAN), par l'implantation d'une culture dérobée, ou encore dans certaines situations par les repousses de colza ou de céréales.

2.2.2 Cultures dérobées et CIPAN

Les CIPAN sont implantées avec pour objectif d'absorber rapidement un maximum d'azote présent dans le sol après la récolte. Les dérobées sont des cultures intermédiaires qui ont en premier lieu un objectif de récolte et de rentabilité mais elles peuvent avoir les mêmes fonctions agronomiques. En plus de l'effet sur les nitrates, les couverts en intercultures peuvent restructurer le sol, favoriser l'activité biologique, éviter le ruissellement et l'érosion, enrichir le sol en matière organique et en azote avec présence de légumineuses, réduire la pression en bioagresseurs… (Blanco-Canqui *et al.*, 2015 ; Minette, 2011).

Les différences réglementaires principales entre dérobées et CIPAN sont résumées dans le tableau 2.

Par rapport aux CIPAN, la récolte en grains des cultures dérobées nécessite l'accomplissement du cycle cultural. L'étude de la faisabilité de cette technique passera donc par une étude climatique pour vérifier que le climat de la région est compatible avec un semis en été et une récolte à l'automne.

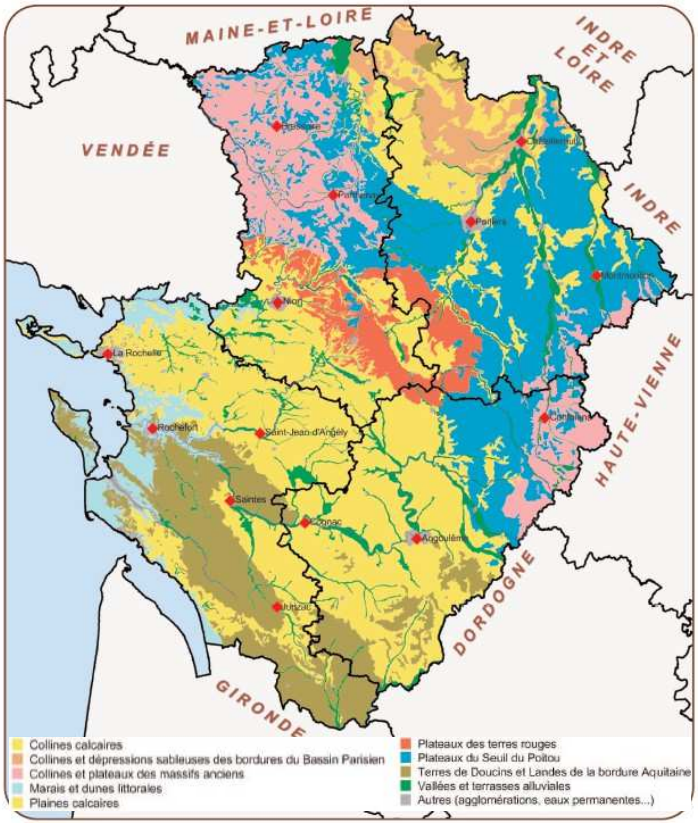


Figure 6 : Pédopaysages de Poitou-Charentes *(Source : ©IGN - BD Carthage - IGCS Poitou-Charentes : CRA, IAAT, INRA)*

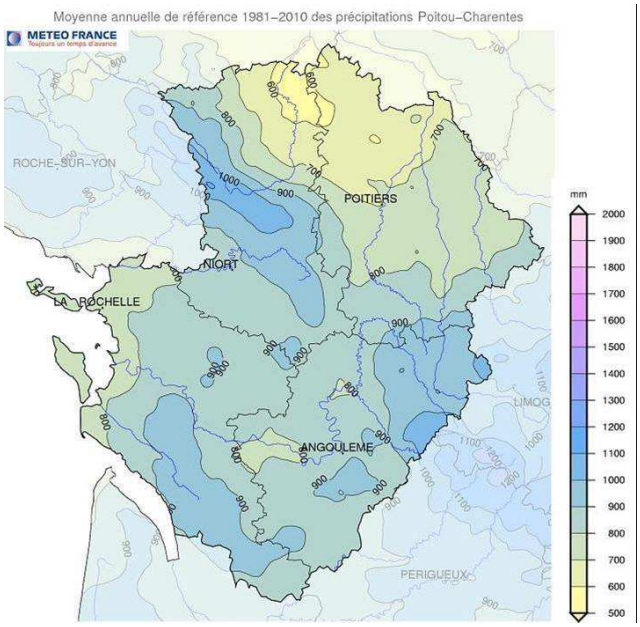


Figure 7 : Moyenne annuelle de référence 1981-2010 des précipitations Poitou-Charentes, *(Source : Météo France)*

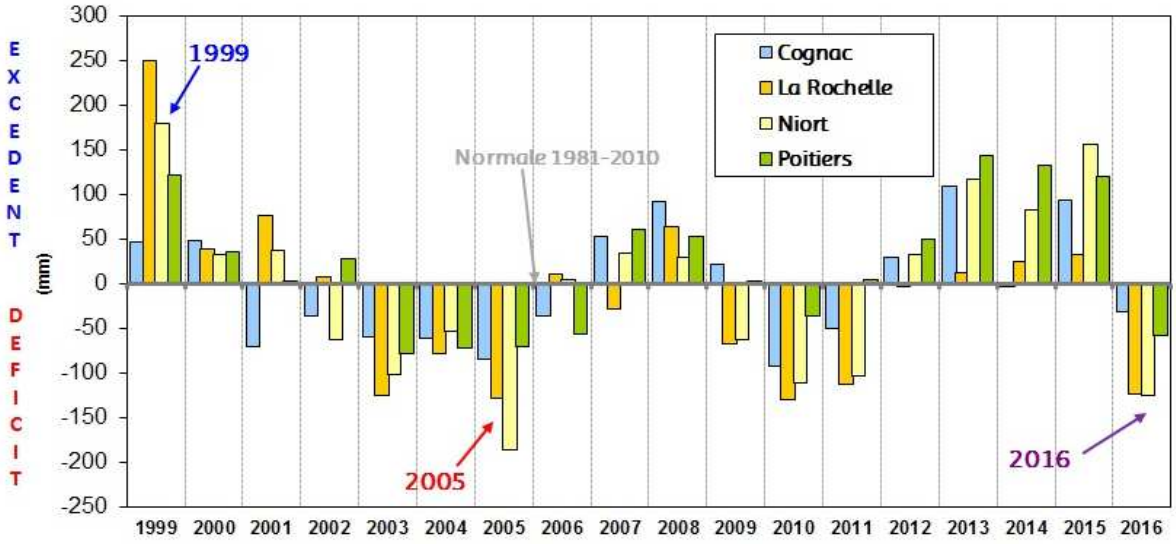


Figure 8 : Cumul des pluies d'avril à septembre de 1999 à 2016 par rapport à la normale 1981/2010 pour 4 stations climatiques de Poitou-Charentes : Cognac, La Rochelle, Niort, Poitiers *(Source : ORE Poitou-Charentes d'après données Météo France, 2017)*

2.3 Situation pédoclimatique de la région

2.3.1 Les sols

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. La figure 6 présente les pédopaysages du Poitou-Charentes. Les grands ensembles de sols sont :

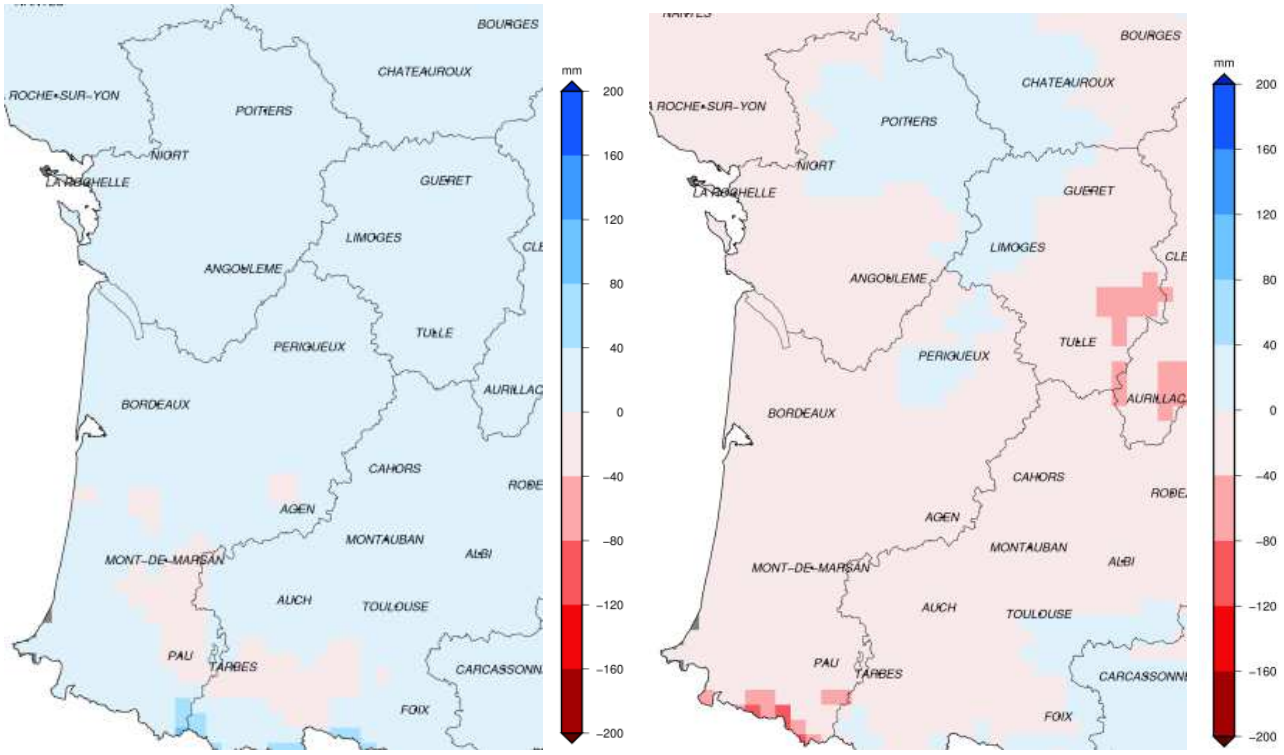
- **Les plaines calcaires** : substrat Jurassique, argile limoneuse sur substrat calcaire, superficielles à profondes, séchantes, caillouteuses (Groies)
- **Les collines calcaires** : substrat Crétacé, argile limoneuse sur substrat de craie : calcaire tendre, bonne réserve en eau (Terres d'Aubues et de Champagne)
- **Les plateaux du seuil du Poitou :**
  - Limons sur argile, hydromorphes, battants (Bornais)
  - Sables sur substrat d'argile sableuse ou grès, acides, caillouteux, réserve en eau faible (Terres de Brandes)
- **Les plateaux des terres rouges** : limons sur substrat argile rouge, bonne réserve en eau, acides, séchantes (Terres Rouges à Châtaigniers)

2.3.2 Climat actuel et évolution future

Le Poitou-Charentes bénéficie d'un climat océanique doux. Les printemps et étés sont plutôt secs tandis que les automnes et hivers sont plus pluvieux. La région est aussi très ensoleillée. Cependant, le climat varie beaucoup dans la région. L'amplitude thermique est plus faible en se rapprochant de l'océan avec des hivers plus doux. Comme le montre la figure 7, la pluviométrie varie de 500 à plus de 1000 mm par an (moyenne 1981-2010). Le nord de la région est plus sec (environ 700 mm à Poitiers), tandis que le centre des Deux-Sèvres est la zone la plus arrosée. Les précipitations sont plus abondantes en allant vers le massif central et les températures y sont moins élevées (RPDE, 2008). Les variations interannuelles sont importantes notamment pour la pluviométrie (fig. 8). Cela laisse supposer que des années seront très favorables aux cultures dérobées et d'autres non. Par ailleurs, entre 1950 et 2010, la température moyenne en Poitou-Charentes a augmenté de 0,3°C par décennie (ORACLE Poitou-Charentes, 2013). L'évolution du climat est donc à prendre en compte pour pouvoir estimer la durabilité de cette pratique.

Le rapport « Le climat de la France au 21ème siècle » présente des scénarios de changements climatiques en France. Entre 2021 et 2050, une hausse des températures moyennes de 0,6 à 1,3°C est estimée dans le pays. Les précipitations moyennes augmenteraient légèrement dans un futur proche avant de diminuer. Le nombre de jours de vague de chaleur risque aussi d'augmenter durant l'été (Jouzel *et al.*, 2014). En Nouvelle-Aquitaine les projections, issues de ce rapport (fig. 9), montrent que dans un futur proche, les précipitations en été n'auront pas tendance à diminuer en Nouvelle-Aquitaine, contrairement à celles en automne.

Le projet de recherche CLIMATOR avait pour but d'étudier les impacts des changements climatiques sur l'agriculture et en particulier les systèmes de culture pour chaque région en France. Pour le sud-ouest (station climatique de Lusignan), les simulations avancent une augmentation de 1,4°C de la température annuelle moyenne annuelle entre le passé récent (1970-1999) et le futur proche (2020-2049). La pluviométrie annuelle observerait une diminution de 146 mm. Les cultures principales verront certainement leur date de récolte avancée (9 jours pour le blé tendre à Lusignan) et les besoins en degrés-jours des cultures dérobées seront atteints plus facilement (Brisson et Levrault, 2010). Cela ouvrira peut-être la porte à des cultures qui ne sont pas envisageables à l'heure actuelle.



Moyenne estivale Moyenne automnale

Figure 9 : Anomalie de cumul des précipitations en Nouvelle-Aquitaine : écart entre la période considérée et la période de référence 1978-2005 pour le scénario sans politique climatique (RCP8.5)
Horizon proche (2021-2050) – Moyenne estivale et automnale
(Source : Météo France, Service Drias[les futurs du climat], Expérience : Météo-France/CNRM2014 : modèle Aladin de Météo-France)

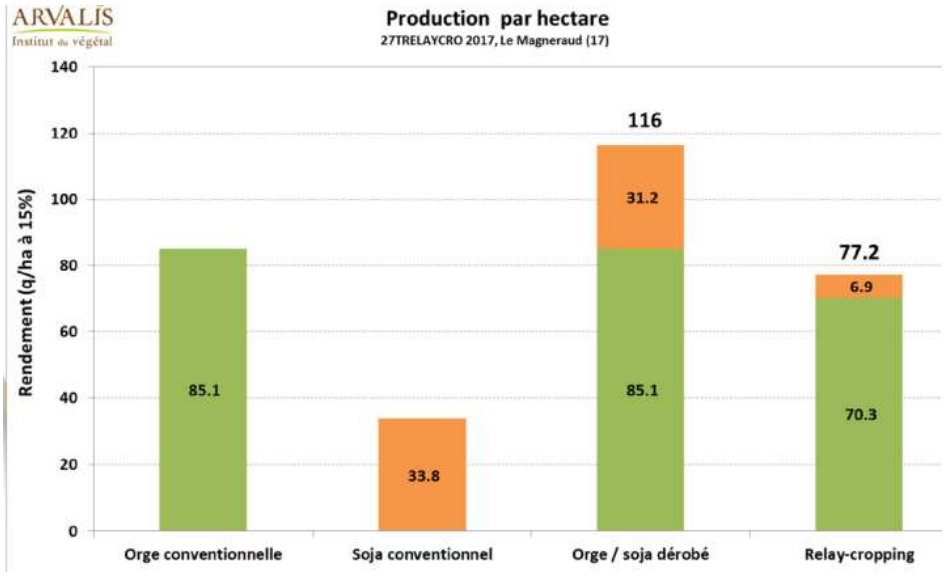


Figure 10 : Relay Cropping et double culture, *(Deschamps et al., 2017)*

Aux États-Unis, la double culture blé – soja devrait aussi être favorisée par l'évolution du climat (Seifert et Lobell, 2015). Les besoins en eau et en températures des cultures dérobées sont maintenant à évaluer pour savoir si ces tendances leur seront favorables ou non et laquelle d'entre elles sera la plus adaptée à cette technique.

2.4 Les cultures dérobées en France et dans le monde

Les cultures dérobées, ou double culture, sont une des solutions possibles pour diversifier les productions et ainsi accroitre la résilience des exploitations. La notion de culture dérobée est ancienne et permettait au départ d'avoir une récolte complémentaire de fourrages avant l'hiver. Il pouvait s'agir d'avoine, de seigle, de vesce, de trèfle… (Favre d'Evires, 1833). Depuis les dérobées se sont beaucoup développées et peuvent être valorisées par les élevages par pâturage, ensilage ou fourrage vert (Morand *et al*., 2013). Une utilisation énergétique pour la méthanisation est aussi possible (Brochier *et al*., 2011).

Cultiver 2 cultures en une année avec pour objectif de récolte en graines, est mis en œuvre dans certaines régions du monde que ce soit par double culture ou par culture relai. Dans ce dernier cas une culture est implantée avant la fin du cycle de la culture précédente, la technique est aussi appelée « relay-cropping ». Par exemple il est possible de faire 2 récoltes de Sorgho en Arizona aux États-Unis (Chapman, 1952). Dans l'Illinois, le système de double culture blé d'hiver – soja permet aux agriculteurs d'augmenter leur marge économique (Schnitkey, 2018). De plus, dans l'État du Missouri, le sarrasin en culture dérobée peut être envisageable (Meyers, Meinke, 1994).

Dans les plaines du nord de la Chine, les agriculteurs implantent un blé d'hiver puis un maïs (Zhao *et al*., 2015). Encore en Chine, le relay-cropping est très pratiqué avec un coton implanté en avril dans un blé d'hiver récolté en juin (Zhang *et al*., 2008). Au Brésil la double culture d'un soja puis d'un maïs ou d'un coton est très répandue, mais la viabilité de ce système dépend beaucoup des conditions climatiques (Pires *et al*., 2016).

La bibliographie montre que ces techniques peuvent permettre des gains économiques et des bénéfices agronomiques et environnementaux.

En France, les cultures dérobées sont également étudiées depuis plusieurs années (Jacquin, 1992 ; Lecomte, 2009). Plusieurs espèces ont été testées à partir des années 2010 dans le Poitou-Charentes par des agriculteurs souhaitant diversifier leur système de culture : sarrasin, millet, soja, maïs, tournesol, moha (Callewaert, 2016). Elles ont été testées également dans d'autres régions (CA Bourgogne, 2015 ; CA Champagne-Ardenne, 2016). En Champagne-Ardenne ce sont le pois, le sarrasin, l'orge de printemps, le soja et le tournesol qui ont été envisagés. Un seuil de rentabilité de 4 q/ha pour un prix de 400 €/t est signalé. La rentabilité du soja et du tournesol en dérobées ont déjà fait l'objet d'une étude au sud de la France mais les surfaces sont faibles (CETIOM, 2012). En 2017 Deschamps *et al*., ont montré qu'un soja en dérobé pouvait augmenter la production totale par hectare et par an, et produire autant qu'un soja en culture principale (fig. 10). 31 q/ha de soja ont été produits en culture dérobée contre 38 en conventionnel. D'après ces études, la réussite semble conditionnée par un semis le plus précoce possible (avant juillet) et la rentabilité dépend du prix de vente.

Certains semenciers ont commencé à sélectionner des variétés à cycle très court dans le but d'être implantées tardivement, voir en dérobée. Pioneer a lancé en 2008 des variétés de tournesol et maïs très précoces dans cet objectif (PIONEER, 2008). De nouvelles variétés de soja très précoces (« quadruple zéro ») adaptées au nord de la France peuvent aussi avoir un objectif de seconde récolte si elles sont cultivées dans le sud (Sem-Partners, [sans date]).

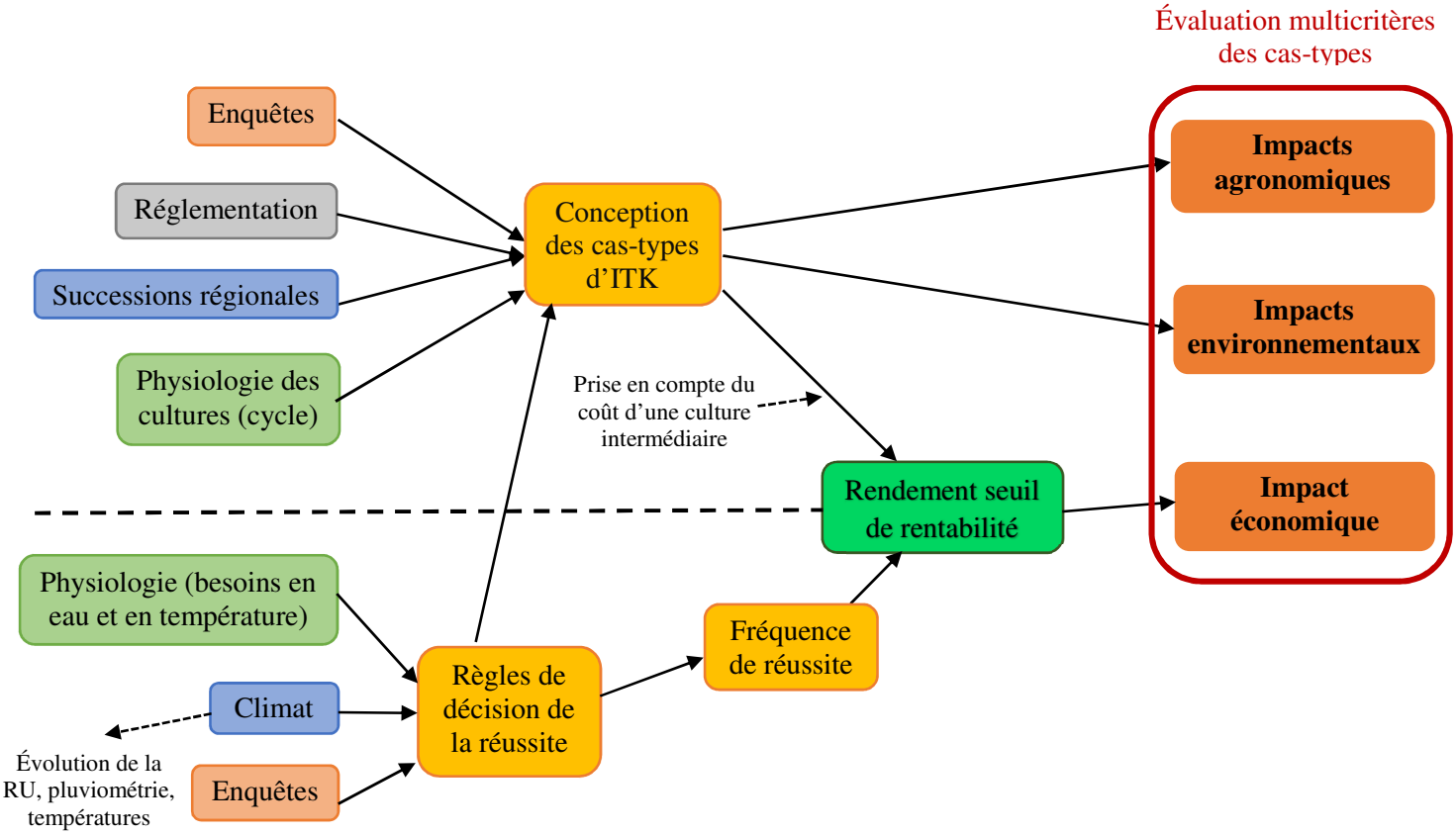


Figure 11 : Schéma de la méthodologie mise en œuvre pour la conception des cas-types et leur évaluation économique, environnementale et agronomique

2.5 Problématique

Dans le contexte économique, réglementaire et climatique actuel du Nord de la Nouvelle-Aquitaine, la CRA souhaite apporter une réponse argumentée agriculteurs et aux techniciens sur la faisabilité d'intégrer des cultures dérobées, récoltées en grains, dans la rotation. Par conséquent, nous pouvons nous demander :

Dans quelle mesure est-il intéressant pour les agriculteurs d'intégrer une culture dérobée en récolte graines dans leur système de culture, d'un point de vue agronomique, économique et environnemental ?

Pour répondre à cette question, les objectifs suivants doivent être atteints :

- ✓ Déterminer les intercultures favorables à l'implantation d'une culture dérobée :

Quelles sont les successions « précédent – suivant » où une culture dérobée est possible ? Quelles sont les durées d'interculture disponibles ?

- ✓ Sélectionner les cultures les plus adaptées :

Lesquelles ont un cycle assez court pour pouvoir atteindre la maturité dans des conditions de récolte favorables ? Quels sont les besoins en eau et en somme de température pour ces cultures et à quel moment de leur cycle pour atteindre un niveau de production minimal?

- ✓ Évaluer la probabilité de réussite en fonction des conditions climatiques :

Quels sont les critères de réussite des cultures ? Quelle est la fréquence des années où les besoins sont potentiellement satisfaits ? Quel est le risque de ne pas récolter la culture ? Quel rendement est atteignable lorsque les besoins sont satisfaits ?

- ✓ Décrire des itinéraires techniques (ITK) types pour ces cultures :

Quelles sont les techniques les plus favorables ?

- ✓ Évaluer les impacts de l'introduction de ces cultures :

Quelle est la rentabilité économique des dérobées en fonction du prix de vente et du rendement ? Quel est le rendement seuil de rentabilité ? Quels sont leurs impacts environnementaux ? Quels sont leurs impacts sur le sol et les cultures suivantes ?

Il s'agit donc d'établir les intérêts qu'elles ont pour les exploitations et des exemples d'itinéraires techniques adaptés à leur système de culture. L'étude s'est faite en deux temps (fig. 11). Tout d'abord il s'agissait de construire des cas-types d'ITK dans le but de définir les techniques et conditions les plus appropriées à la production d'une culture dérobée. Ils ont été déduits à la fois des résultats d'une enquête menée auprès des agriculteurs, et de la bibliographie : réglementation en vigueur, contexte agricole de la région et physiologie des cultures (en particulier la durée du cycle).

La seconde partie consistait en l'évaluation des impacts économiques, environnementaux, et agronomiques de ces cas-types. La partie la plus conséquente de cette évaluation concernait l'impact économique sur les exploitations. Celle-ci devait passer en effet par une analyse climatique, basée sur les données météorologiques et les besoins physiologiques, de toutes les expériences recueillies dans le but de définir les règles de décisions quant à la réussite au non d'une culture. Le système expert d'aide à la décision construit (appelé « arbre de décision ») a été appliqué sur les années précédentes pour en déduire la fréquence de réussite potentielle de la culture, puis le rendement seuil de rentabilité. L'étude climatique fut menée en parallèle de l'élaboration des cas-types, puisqu'elle a aussi aidé à la définition de ces derniers. Les impacts environnementaux et agronomiques ont été étudiés seulement à partir de ceux-ci, des témoignages des enquêtes et des données d'exportation en azote des cultures.

Tableau 3 : Sources d'informations de l'étude

Information recherchée	Source d'information
Agriculture de Nouvelle-Aquitaine	Bibliographie, Agriculteurs
Contexte réglementaire	Bibliographie
Contexte pédoclimatique	Bibliographie, agriculteurs
Besoins physiologiques des cultures Durée du cycle, besoins en eau	Bibliographie, personnes « ressources »
Références techniques sur les cultures dérobées	Bibliographie, agriculteurs
Données météo	Météo-France, agriculteurs
Débouchés des cultures	Agriculteurs

Tableau 4 : Liste des informations demandées aux agriculteurs

Informations générales sur l'exploitation	- SAU, UTH, productions animales - Données climatiques - Assolement 2017-2018 - Conduite des cultures (travail du sol, utilisation intrants) - Rotations - Cultures intermédiaire (hors dérobées) - Cultures dérobées
ITK de la culture dérobée	- Type de sol : profondeur, cailloux, RU, matière organique - Précédent : date de récolte, rendement, fertilisation, irrigation - Préparation du sol : matériel - Semis : date, matériel utilisé, profondeur, densité, variété - Intervention : fertilisation, désherbage, irrigation - Récolte : date, matériel, conditions, rendement, humidité (séchage) - Dates des stades - Avis sur le déroulement de la culture : climat, maladies, adventices, ravageurs…
Déterminants de la production de la dérobée	- Objectifs des dérobées - Justification de la position dans la rotation - Effet sur la culture suivante - Approvisionnement en semences - Valorisation - Avantages et inconvénients de cette culture - Importance de la charge de travail - Sources d'information
Perspectives	- Avenir des dérobées sur la ferme : Freins et motivation - Autres expériences / essais - Idées, suggestions (de culture ou de technique) - Contacts d'autres agriculteurs

3 Matériels et méthodes

3.1 Sources d'information et outils de collecte

Cette étude a tout d'abord nécessité différentes sources d'informations qui sont récapitulées dans le tableau 3. Ces recherches ont toutes été menées en parallèle.

- **Bibliographie**

L'étude bibliographique avait pour but de récupérer des informations sur le contexte agricole de la Nouvelle-Aquitaine ainsi que sur les caractéristiques physiologiques des cultures. Des recherches ont aussi été faites pour trouver des méthodes d'études climatiques basées sur les besoins physiologiques des cultures. Les sources sont diversifiées : articles de revues, communiqués techniques d'organismes agricoles (instituts, coopératives, Chambres d'Agriculture…), ouvrages d'agronomie.

- **Personnes « ressources »**

Appartenant à des organismes de recherche et développement, elles ont été contactées pour compléter les recherches bibliographiques.

- **Conseillers agricoles**

Ils ont été sollicités pour compléter la première liste d'agriculteurs pratiquant les cultures dérobées établie en 2016. Ils ont aussi permis d'avoir des retours sur la faisabilité de certaines cultures.

- **Agriculteurs**

Les agriculteurs ayant expérimenté les cultures dérobées en récolte graines ont été enquêtés. L'objectif était de les contacter de manière aussi exhaustive que possible afin de leur proposer un rendez-vous par téléphone ou physique. Les informations demandées sont détaillées dans le tableau 4. La fiche d'enquête utilisée est présentée en Annexe I. Les agriculteurs qui avaient été sollicités en 2016 n'ont été interrogés sur leurs pratiques que pour les années 2016 et 2017.

- **Agriculteurs hors région**

Un appel à témoignage par mail a été lancé aux abonnés de la revue TCS (Techniques Culturales Simplifiées) par l'intermédiaire de Cécile Waligora et Frédéric Thomas. Cela avait pour but de montrer les cultures qui peuvent se faire en dérobées et la diversité des pratiques, en dehors de la région Nouvelle-Aquitaine.

3.2 Conception des cas-types

Chaque exploitant a des pratiques agricoles qui lui sont propres et qui varient en fonction du contexte pédoclimatique et économique. Il n'est pas envisageable, par le grand nombre d'expériences recueillies, d'évaluer les impacts des cultures dérobées pour chaque exploitation. Il a donc été choisi que cette évaluation porterait sur des cas-types qui correspondent aux situations les plus rencontrées et qui semblent les plus pertinentes.

3.2.1 Choix des cultures

Toutes les cultures n'étant pas appropriées pour l'établissement d'un cas-type dans le contexte de la région, des critères économiques et agronomiques d'exclusion avaient été définis en 2016. Pour cette nouvelle étude l'objectif était de compléter la recherche bibliographique faite sur certaines cultures, et aussi d'en étudier d'autres qui n'avaient pas été envisagées. Cette recherche a concerné :

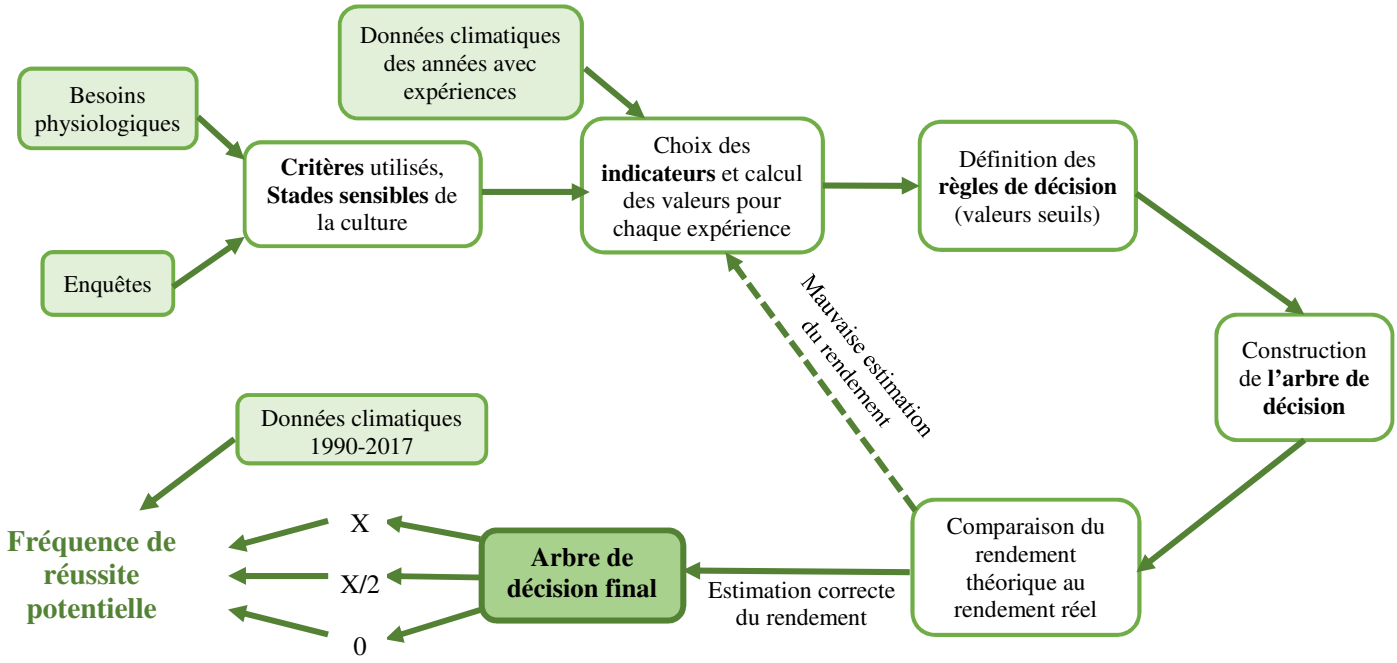


Figure 12: Schéma de la démarche d'élaboration de l'arbre de décision de la réussite de la culture

- Les besoins physiologiques des cultures (durée du cycle, besoins en eau)
- Les autres contraintes pédoclimatiques éventuelles
- La filière de valorisation éventuelle
- Les références techniques sur la conduite culturale (en dérobée de préférence)

3.2.2 Synthèse des itinéraires techniques recueillis

Les ITK des agriculteurs ont d'abord été synthétisés dans un tableau regroupant les principales données acquises qui sont nécessaires à l'évaluation environnementale, agronomique et économique. Les informations données par les agriculteurs ont parfois dû être interprétées ou adaptées pour que les ITK puissent être comparés entre eux. Ils ont ensuite été analysés sur certaines informations qualitatives pour distinguer les situations les plus fréquemment rencontrées.

Par conséquent, l'analyse a consisté à calculer la fréquence d'associations de variables qualitatives de l'ITK (pratiques culturales). Il pouvait s'agir par exemple de rechercher si les herbicides étaient plus fréquents pour un précédent cultural en particulier. Pour les valeurs (dates de semis et de récolte, rendement, densité de semis…), il s'agissait aussi de calculer des moyennes en fonction d'autres caractéristiques des ITK comme la culture précédente ou la technique d'implantation.

Les pratiques retenues se devaient d'être à la fois représentatives des expériences, cohérentes et favorables pour la réussite de la culture. De plus le respect de la réglementation a été vérifié, notamment pour le désherbage et les obligations d'implantation d'une CIPAN. Elles ont aussi été définies, de sorte qu'elles soient adaptées aux conditions climatiques, en se basant sur les règles de décision définies par l'analyse climatique.

3.3 Évaluation des cas-types

Ils ont été évalués avec différents critères pour estimer les impacts économiques, environnementaux, et agronomiques, que peut avoir une culture dérobée introduite dans un système de culture. Pour l'impact économique cela a nécessité au préalable une étude climatique pour connaitre le risque encouru par cette technique.

3.3.1 Étude climatique : construction de l'arbre de décision

À la suite de la recherche bibliographique, aucune méthode pour approcher les conditions de réussite en fonction des besoins physiologiques et des aléas climatiques n'a été trouvée. Le schéma de la figure 12 présente la démarche utilisée. Les expériences des agriculteurs ont été synthétisées dans un tableau pour l'établissement de l'arbre de décision. Une expérience correspond à un ITK une année donnée sur un même îlot cultural. Le travail a ensuite consisté à attribuer à chaque expérience la station climatique la plus proche.

3.3.1.1 Choix des données météorologiques

Les stations choisies pour l'étude sont celles dont les données étaient disponibles via les Chambres d'Agriculture et qui ont une représentativité climatique et géographique intéressante par rapport à la localisation des expériences recensées. Elles sont situées à Angoulême, Lusignan, Niort, Poitiers, Saintes et Thouars (Annexe II). Les données de plusieurs autres stations ont été utilisées pour certaines expériences afin d'obtenir des couples « données météo – expérience » les plus fiables (prises en compte d'averses localisées). Pour l'étude climatique finale, seules les 6 précédemment citées ont servi au calcul de la fréquence de réussite potentielle.

$$\sum DJ = \sum (\frac{Tmin + Tmax}{2} - Tbase)$$

Figure 13: Équation de la somme des degrés-jours

Tableau 5 : Liste des indicateurs étudiés pour chaque critère

Critères	Indicateurs
Besoins en eau	- Évolution de la RU avant le semis - Cumul des précipitations sur 21 jours autour de chaque stade sensible - Cumul des précipitations du semis à la maturité
Température	- Date d'atteinte de la somme nécessaire de DJ pour un stade - Nombre de jours où la température maximale dépasse une température seuil durant une période donnée - Moyenne des températures maximales

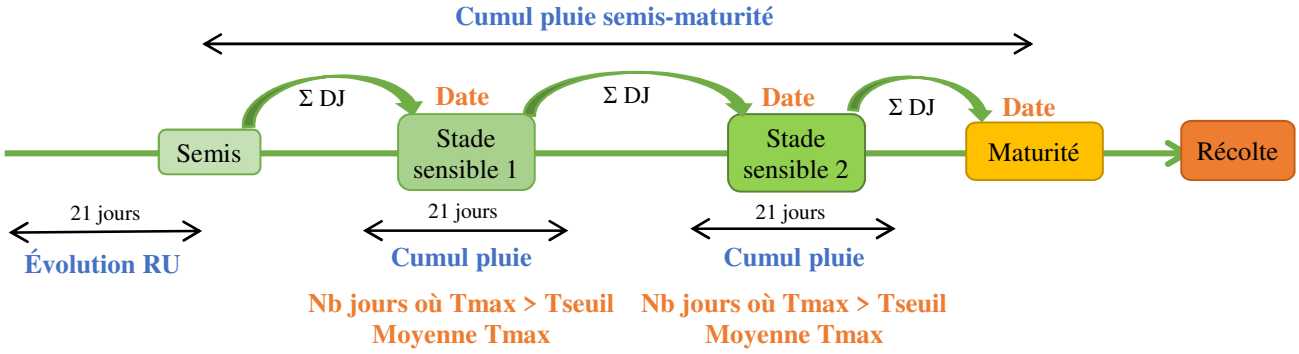


Figure 14 : Schéma de la position des indicateurs choisis pour chaque critère par rapport au cycle de la culture
Bleu : indicateurs du critère besoin en eau (valeurs en mm d'eau)
Orange : indicateurs du critère température
Tmax : température maximale durant la journée (°C)
Tseuil : température à partir de laquelle elle devient limitante pour le rendement (°C)

Pour ce calcul il fallait également choisir la plage de données utilisées. Comme les températures augmentent depuis plusieurs décennies (cf. p.5), il a été choisi de se baser sur les années 1990 à 2017, soit 28 années, ce qui permettait de conserver une bonne variabilité. Cependant, compte tenu de la forte variabilité du climat ces dernières années (fig. 7), il semblait intéressant d'étudier l'évolution de la pluviométrie et de la température durant deux périodes : 1990 à 2003 et 2004 à 2017. La différence entre les médianes du cumul mensuel de pluviométrie et des températures des deux périodes a été calculée. L'objectif était de voir quelle période serait la plus pertinente à utiliser pour l'étude climatique et si les conditions pour les dérobées avaient tendance à être plus favorables ou non.

3.3.1.2 Critères de réussite

Pour pouvoir construire un arbre de décision de la réussite de la culture, deux critères ont été choisis en fonction des informations recueillies dans la bibliographie et les expériences des agriculteurs.

- **La température**

Pour pouvoir terminer son cycle, une plante a en premier lieu besoin d'un cumul de degrés jours (DJ) minimal. S'il n'est pas atteint, la culture sera un échec. Cette valeur, ainsi que la température de base sont issues de la bibliographie. Elles permettront d'avoir une estimation de la durée du cycle, et éventuellement de la date des stades. La somme des DJ est calculée avec l'équation de la figure 13.

La température maximale journalière a aussi été étudiée car celle-ci peut, d'après la bibliographie, à partir d'un certain seuil, limiter le rendement.

- **Besoins en eau**

L'eau est, d'après les agriculteurs et la bibliographie, le facteur clé de la réussite des cultures dérobées. Le respect du critère de satisfaction des besoins en eau est donc décisif. Cependant, les besoins en eau, exprimés en mm, n'ont pas ou très peu été étudiés notamment pour les cultures dérobées. Utiliser le calcul de l'évolution de la réserve utile du sol pendant le cycle de la culture n'était donc pas envisageable. Seule la valeur du coefficient cultural kc, pour un sol nu, a pu être utilisée. Une relation entre le rendement atteint, la pluviométrie et les températures a donc été recherchée en utilisant les données des expériences recensées.

3.3.1.3 Choix des indicateurs

Pour établir des règles de décisions, il fallait d'abord sélectionner les indicateurs (ce qu'il faut regarder pour évaluer le respect d'un critère) à calculer. Ils sont récapitulés dans le tableau 5, et leur position dans le cycle de la culture est montrée avec le schéma de la figure 14.

Les stades les plus sensibles aux stress hydrique et thermique ont été identifiés grâce à la bibliographie et aux témoignages. Les **dates des stades** ont été calculées pour toutes les expériences en fonction du cumul de DJ nécessaire pour les atteindre.

Ensuite le cumul des précipitations (noté RR) a été calculé sur une période de 21 jours autour des dates établies. Cela permettait d'encadrer la période où la plante est sensible à un manque d'eau et de tenir compte des pluies précédant la date du stade, même en cas d'erreur d'estimation de celle-ci. Le cumul entre le semis et la maturité a été mesuré également.

Pour avoir une estimation de l'état hydrique du sol, l'évolution de la RU avant la date de semis a aussi été prise en compte. Les retours d'expériences ont permis de faire l'hypothèse que la levée de la culture était possible même en cas de pluviométrie nulle au semis si la culture est semée dans un sol humide. L'évolution a été calculée sur une période de 21 jours à l'aide de l'Évapotranspiration Potentielle (ETP) journalière et de la pluviométrie.

$$MB\left(\frac{€}{ha}\right) = Produit - Charges\ opérationnelles$$
$$= Rendement\left(\frac{q}{ha}\right) * Prix\ de\ vente\left(\frac{€}{q}\right) - Charges\ opérationnelles\left(\frac{€}{ha}\right)$$

Figure 15 : Équation du calcul de la Marge Brute (MB)

$$MSN\left(\frac{€}{ha}\right) = MB\left(\frac{€}{ha}\right) - Coût\ mécanisation\left(\frac{€}{ha}\right) \quad (1)$$

$$MSN\ CIPAN\left(\frac{€}{ha}\right) = MB\left(\frac{€}{ha}\right) - Coût\ mécanisation\left(\frac{€}{ha}\right) + Coût\ CIPAN \quad (2)$$

Figure 16 : Équations de calcul de la Marge Semi-nette (MSN)
sans (1) ou avec (2) prise en compte du coût d'une CIPAN

Afin de considérer l'impact des fortes températures, deux approches ont été testées : calculer le nombre (Nb) de jours où la température maximale (Tmax) dépasse une température seuil (Tseuil), et calculer la moyenne des températures maximales, pour une période définie.

3.3.1.4 Construction de l'arbre de décisions

L'arbre de décision devait donner une estimation rapide du rendement. Pour cela il a été décidé qu'il y aurait 3 voies de rendements théoriques possibles :

- **X :** rendement pouvant être obtenu dans des conditions pédoclimatiques optimales.
- **X/2 :** rendement obtenu avec des conditions limitantes : « demi réussite »
- **0 :** rendement considéré comme un échec

Le choix d'une de ces trois voies est défini en fonction des règles de décisions attribuées à chaque indicateur retenu. Ces règles sont des valeurs seuils qui conditionnent la réussite ou l'échec de la culture. Des valeurs de rendements seuils ont été allouées pour chacune des voies par rapport aux rendements réels des agriculteurs. Les expériences avaient donc leur voie d'attribuée, et les règles devaient faire en sorte d'y parvenir. Celles-ci ont été décidées par tâtonnement en identifiant des tendances, afin que l'arbre fonctionne pour un maximum d'expériences. À chaque changement d'une d'elles, l'arbre devait être à nouveau testé pour toutes les expériences. Par ailleurs, l'ordre des règles dans l'arbre avait aussi de l'importance.

3.3.1.5 Calcul de la fréquence de réussite

Une fois l'arbre construit, il a été appliqué pour chaque année de la période choisie sur les 6 stations climatiques. Cela a permis d'en déduire la fréquence de chacune des 3 voies de l'arbre. Chaque règle de décision de l'arbre devait être modifiable pour pouvoir étudier l'impact du changement de l'une d'elles sur cette fréquence. L'impact du retard de la date de semis a notamment été regardé.

3.3.2 Quels indicateurs de performance pour évaluer les cas-types ?

Les indicateurs de performance pour l'évaluation multicritère ont été calculés uniquement à l'échelle de la culture dérobée et non pas à l'échelle de la succession. En effet, à cause d'un manque d'informations sur l'effet de l'introduction des dérobées sur le système de culture, la comparaison entre deux systèmes, avec et sans dérobée, n'était pas pertinente. L'outil Systerre® qui aurait pu être utilisé à l'échelle de la parcelle n'a été utilisé que comme base de données prix.

3.3.2.1 Indicateurs des performances économiques

Les prix et références utilisées sont présentés en Annexe III.

- **Marge Brute (MB) :**

Elle permet de comparer les cultures sans prise en compte de la mécanisation et de la main d'œuvre (fig. 15). Les charges opérationnelles incluent le coût des intrants : semences, engrais, produits phytosanitaires. Les frais éventuels de séchage ont été déduits du prix de vente.

- **Marge Semi-Nette hors main d'œuvre (MSN) :**

Elle prend en compte le coût de la mécanisation (fig. 16). Le coût de la main d'œuvre n'a pas été mesuré car il dépend de la situation de chaque exploitation. Elle a aussi été calculée de façon à prendre en compte le coût d'implantation d'une CIPAN (semences et mécanisation) qui aurait été implantée à la place de la dérobée (obligation en Zone Vulnérable) et qui a donc été évité.

$$Rendement\ seuil\ \left(\frac{q}{ha}\right) = \frac{Charges\ opérationnelles + coût\ mécanisation\ (\frac{€}{ha})}{Prix\ de\ vente\ (\frac{€}{q})}$$

Figure 17 : Équation du rendement seuil de rentabilité annuel

$$Prix\ de\ vente * \left(f1 * X + f2 * \frac{X}{2} + f3 * 0\right) = f1 * c1 + f2 * c2 + f3 * c3$$

$$X = RSP\left(\frac{q}{ha}\right) = \frac{2 * (f1 * c1 + f2 * c2 + f3 * c3)}{Prix\ de\ vente(2 * f1 + f2)}$$

$$= \frac{2((f1 + f2) * (CO + CM - coût\ CIPAN) + f3(CO + CM - coût\ CIPAN - Récolte + Broyage)}{Prix\ de\ vente * (2 * f1 + f2)}$$

Figure 18 : Équation du rendement seuil de rentabilité pluriannuel en q/ha (RSP), tenant compte de la fréquence de réussite potentielle, (le coût CIPAN est de 0 s'il n'est pas pris en compte)
Les fréquences sont notées f1, f2, f3, et les charges c1, c2, c3 (€/ha), respectivement pour les rendements X, X/2, 0 de l'arbre de décision.
CO : Charges opérationnelles (€/ha) ; CM : Coût mécanisation (€/ha)

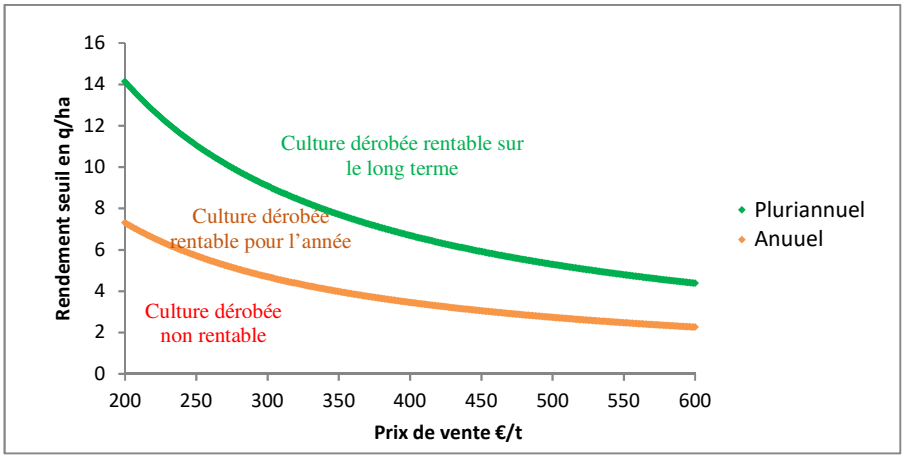


Figure 19 : Graphique exemple présentant le rendement à obtenir une année de réussite (X dans l'arbre de décision) en fonction du prix de vente pour une rentabilité sur l'année (en orange) ou pluriannuelle (en vert)

$$Rentabilité\ du\ temps\ \left(\frac{€}{h}\right) = \frac{Marge\ semi\ nette\ hors\ main\ d'oeuvre(\frac{€}{ha})}{Temps\ de\ travail\ (\frac{h}{ha})}$$

Figure 20 : Équation de la rentabilité du temps de travail

$$IFT = \frac{Dose\ appliquée * surface\ traitée}{Dose\ homologuée * surface\ totale}$$

Figure 21 : Équation du calcul de l'indice de fréquence de traitement (IFT)

- **Rendement Seuil Annuel (RSA)**

C'est le rendement minimum à atteindre pour que le produit couvre les charges engagées pour la culture. Le produit (rendement x prix de vente) est égal à la somme des charges opérationnelles et de mécanisation (fig. 17).

- **Rendement Seuil Pluriannuel (RSP)**

C'est le rendement minimum à atteindre en tenant compte de la fréquence de réussite potentielle de la culture (fig. 18). Dans ce cas, le rendement obtenu lors des années de réussite doit couvrir les charges engagées les années d'échec. Ce calcul intègre les 3 voies de l'arbre de décision décrites précédemment : X, X/2 et 0. La fréquence de chacune est notée respectivement f1, f2 et f3. Les charges (notées c1, c2 et c3) sont quasi identiques excepté pour le coût de la mécanisation. En effet, lorsque la culture n'est pas récoltée il faut retirer le coût de la récolte, mais il faut le remplacer par un coût de broyage de la culture. Le coût d'une CIPAN a été pris en compte pour le calcul du RSP et a donc été soustrait des charges.

Les calculs du RSA et du RSP ont été faits sur les 6 stations climatiques pour chaque cas-type défini, en fonction du prix de vente, de l'origine des semences (certifiées ou de ferme) et de la prise en compte ou non du coût d'une CIPAN. L'objectif était d'obtenir des graphiques comme celui de la figure 19 afin de pouvoir savoir rapidement quel rendement X il faut pouvoir atteindre une année de réussite pour que la culture soit rentable sur le long terme. Si ce rendement X est supérieur au potentiel de la région, la dérobée pourra être considérée comme non rentable au prix considéré.

- **Rémunération du travail**

Elle permet de savoir si le temps de travail que nécessite la culture dérobée est trop important par rapport à la marge dégagée. La marge semi-nette ne comprenant pas le coût de la main d'œuvre, la rentabilité du temps de travail (€/h) se détermine en calculant la marge semi-nette obtenue par heure de travail (fig. 20).

3.3.2.2 Indicateurs des performances environnementales

- **Reliquat début drainage**

L'objectif des CIPAN est en premier lieu le piégeage des nitrates disponibles dans le sol durant l'interculture pour diminuer le risque de lixiviation. Il est donc intéressant de comparer l'efficacité des cultures dérobées sur ce piégeage avec les cultures intermédiaires implantées classiquement. L'indicateur choisi est une estimation du Reliquat Début Drainage (RDD) ou Reliquat Entrée Hiver (REH) exprimé en kg N/ha.

Á partir de cette valeur il est possible de mesurer la proportion d'azoté piégé en comparant le RDD de la dérobée avec le RDD d'un sol nu. Cette efficacité a pu être mise en parallèle avec celle des CIPAN. La méthode de calcul est présentée en Annexe IV.

- **Indice de fréquence de traitement (IFT)**

Pour mesurer l'utilisation des produits phytosanitaires, l'IFT a été calculé pour chaque cas-type (fig. 21).

3.3.2.3 Indicateurs agronomiques

Connaitre l'impact agronomique des dérobées sur la culture suivante est néanmoins (comme les CIPAN) pour savoir si leur introduction est pénalisant pour les cultures principales. Ils ont été évalués qualitativement à partir des remarques des agriculteurs enquêtés et des conseillers. Ces remarques pouvaient concerner les ITK, les conditions de semis et de récolte, ou encore les impacts sur la culture suivante. La bibliographie faite sur les cultures a pu compléter les expériences de la région afin d'en discuter la pertinence.

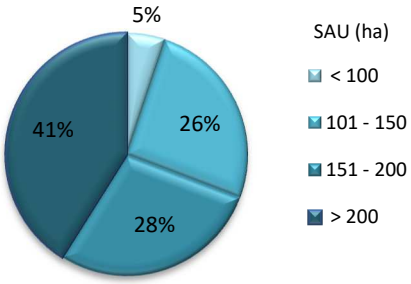


Figure 23 : Répartition des 40 exploitations de NA selon la SAU

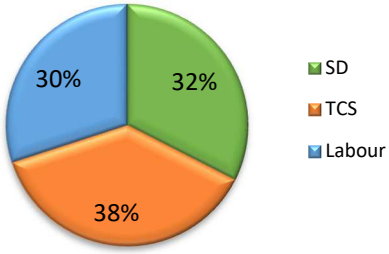


Figure 22 : Proportion d'agriculteurs en Semis Direct (SD), Techniques Culturales Simplifiées (TCS) et labour, en Nouvelle-Aquitaine

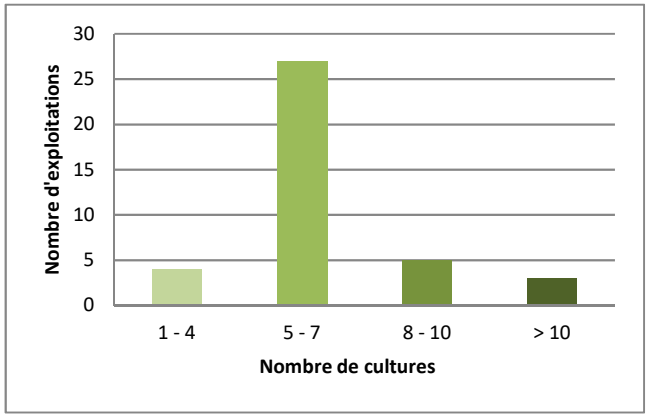


Figure 24 : Nombre d'exploitants par catégorie de nombre de cultures (hors CIPAN, dérobées, prairies) en Nouvelle-Aquitaine

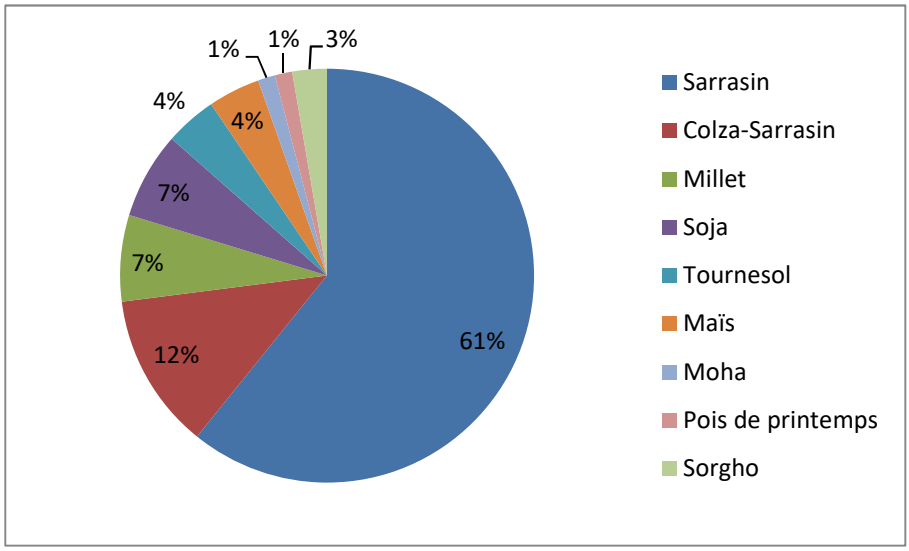


Figure 25 : Proportion d'agriculteurs par culture dérobée implantée en 2016 et 2017 en Nouvelle-Aquitaine

4 Résultats

4.1 Choix des cultures candidates

Les cultures répertoriées par les suggestions des conseillers et celles des agriculteurs ont fait l'objet de recherches bibliographiques. Par rapport à 2016, des recherches ont été faites sur plusieurs cultures supplémentaires (Annexe V). Cependant, étant très peu cultivées, peu d'études, voire aucune, ont été faites sur leurs besoins précis en eau et en DJ. Des informations complémentaires ont été trouvées pour les cultures qui avaient déjà étudiées, notamment le sarrasin (*Fagopyrum esculentum*), le millet (*Panicum milliaceum)*, le tournesol (*Helianthus annuus*), le pois de printemps (*Pisum sativum)* la caméline (*Camelina sativa*) et le soja (*Glycine max)*. Pour les besoins en DJ, les plages de valeurs annoncées sont relativement précises, mais ce n'est pas le cas des besoins en eau qui restent peu connus.

D'après les agriculteurs l'objectif principal des cultures dérobées grains est la vente. Cela nécessite une filière. Ils doivent donc s'assurer d'un débouché en circuit court ou par l'intermédiaire d'un organisme stockeur. Sinon ils pourront valoriser leur production en couverts d'interculture.

4.2 Constitution des cas-types

4.2.1 Présentation de l'échantillon

Pour la constitution de la liste des agriculteurs à enquêter, 22 conseillers des Chambres d'Agriculture et des coopératives ont été contactés. Cette liste a permis l'appel de 78 exploitants situés en Poitou-Charentes. Parmi eux, 40 ont accepté d'être enquêtés physiquement soit par téléphone. 11 n'ont pas été intéressés par l'enquête. Ceux qui avaient été enquêtés en 2016 n'ont pas toujours souhaité renouveler l'expérience. De plus 6 enquêtes téléphoniques ont été faites à la suite de l'appel à témoignage lancé sur la revue TCS, dont 5 situés hors de la région Nouvelle-Aquitaine. La station expérimentale du Magneraud d'ARVALIS Institut du végétal a aussi répondu à l'enquête.

Les 40 exploitations de Nouvelle-Aquitaine sont pour la grande majorité en grandes cultures, et ont une SAU comprise entre 50 et 450 ha. Près de 70 % cultivent une surface supérieure à 150 ha (fig. 22). Les types de sols sont très majoritairement du type argilo-calcaire (Groies superficielles à profondes). Les autres sont des limons argileux (Bornais, Terres rouges à châtaigniers).

Concernant le travail du sol, il se réparti équitablement entre le semis direct (32 %), les TCS (38 %), et le labour (30 %), le plus souvent occasionnel (fig. 23). De plus, les 40 enquêtés cultivent le plus souvent 5 à 7 espèces différentes hors CIPAN, cultures dérobées et prairies (6,5 en moyenne) (fig. 24). L'analyse de l'échantillon indique que les agriculteurs sont déjà impliqués dans une démarche de réduction de travail du sol, de diversification des cultures, et d'implantation de couverts végétaux. L'échantillon ne représente donc pas les techniques majoritaires de la région (cf. p.3). Par ailleurs 3 d'entre eux sont en agriculture biologique.

Les enquêtes ont porté principalement sur les années 2016 et 2017. Neuf cultures ont été répertoriées, le sarrasin représentant 61 % des espèces choisies par les agriculteurs (fig. 25). Les 7 autres cultures suivantes (millet, soja, tournesol, maïs, moha, sorgho et pois de printemps) sont minoritaires et n'ont pas été étudiées, en raison du faible nombre d'expériences recensées. L'association colza-sarrasin est intéressante mais n'a pas été retenue pour la suite et mériterait une étude à part entière.

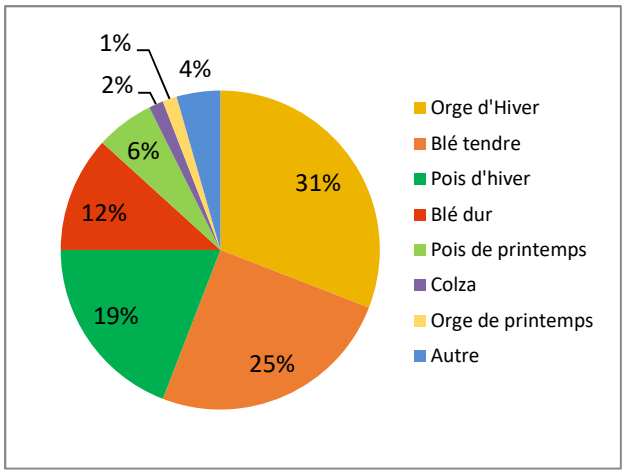


Figure 26 : Proportion de chaque précédent cultural du sarrasin parmi les 68 expériences des agriculteurs (enquête 2018)

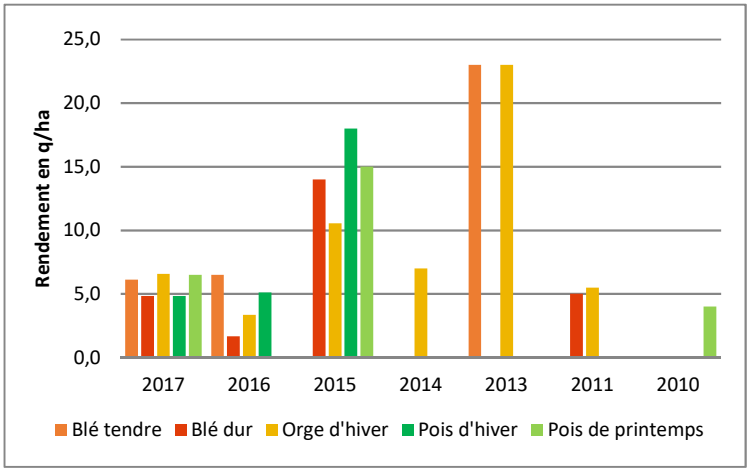
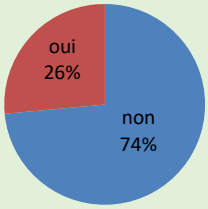
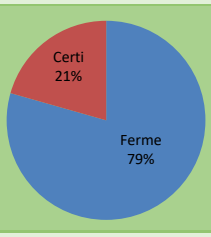
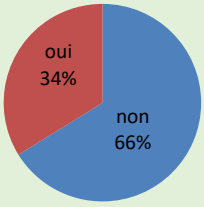
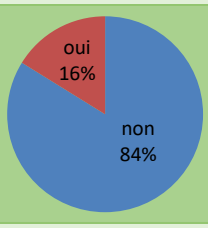
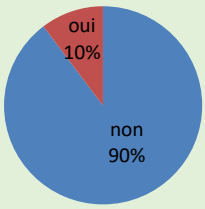


Figure 27 : Rendement moyen du sarrasin (normé à 15 % d'humidité) par année et par précédent cultural, enquêtes 2016 et 2018, 73 valeurs (Blé tendre : 17 ; Blé dur : 10 ; Orge d'hiver : 27 ; Pois d'hiver : 13 ; Pois de printemps : 6)

Tableau 6 : Analyse des informations qualitatives des expériences en sarrasin relevées (enquête 2018)

Travail du sol		- Majorité de semis direct, en semoir à disques (à dents favoriserait le contact terre-graine) - Combiné herse rotative lorsque le sol est travaillé (parfois rouleau après) - La levée est toujours rapide mais attention au risque d'asséchement du sol s'il est travaillé - Quelques expériences de semis à la volée
Origine semences (Certifiées ou ferme)		- Achat de semences certifiées seulement la première année, puis semences de ferme - Semis au plus près de la récolte - Profondeur 2 à 3 cm pour profiter de la fraicheur - Densité 40 kg/ha en moyenne, pour un compromis entre gestion des adventices et rendement - Variété « La Harpe » la plus répandue
Herbicide		- Essentiellement contre les repousses de céréales (parfois de pois) et les graminées d'été - IFT 0,4 en moyenne : application de glyphosate avant le semis ou d'un herbicide homologué en post-semis
Fertilisation		- Uniquement derrière céréales, 20 à 50 unités d'azote
Irrigation		- Peu d'expériences - 2 à 3 tours d'eau au semis et durant la floraison

L'étude climatique et la constitution des cas-types n'a porté que sur le sarrasin. Comme la plupart des exploitations se situent en Poitou-Charentes (carte des localisations en Annexe II), l'étude climatique n'a concerné que cette région.

4.2.2 Analyse des ITK et expériences individuelles

Pour le sarrasin, le nombre d'expériences relevées en Nouvelle-Aquitaine était de 71 (pour 33 agriculteurs). En comparaison seulement 13 avaient été étudiées lors de l'étude de 2016. Les 3 ITK avec un précédent méteil fourrage n'ont pas été pris en compte pour la constitution des cas-types. En effet les cultures peuvent être semées dans ce cas dès le mois de mai. La dérobée peut donc avoir un cycle proche de celui d'une culture principale. Les expériences en agriculture biologique ont fait partie de l'analyse car ces ITK ne comportent pas de différences notables par rapport aux autres.

Sur certains ITK, les plus anciens, certaines données ont dû être précisées car les agriculteurs nous ont fourni des fourchettes de valeurs (dates de semis, de récolte et le rendement). Dans ce cas, des moyennes ont été calculées. 68 expériences ont donc aidé au choix des ITK types dont 83 % concernaient les années 2016 et 2017.

Pour discriminer les expériences, les informations qualitatives des itinéraires techniques ont été étudiées. Les précédents culturaux étaient majoritairement des céréales avec 31 % d'orge d'hiver et 25 % de blé tendre, les pois ne représentant qu'un quart des expériences (fig. 26).

L'analyse des ITK du sarrasin est récapitulée dans le tableau 6. Le plus souvent les agriculteurs ont cherché à minimiser le plus possible les charges pour ne pas perdre trop d'argent en cas d'échec. Il est donc normal de retrouver très peu d'expériences avec de l'irrigation ou de la fertilisation. Les semences étaient souvent d'origine fermière (79 %) étant donné le coût très élevé des semences certifiées (Annexe III). Le travail du sol était souvent évité, dans 74 % des cas, pour ne pas perdre l'humidité du sol par les fortes températures du début de l'été.

Les corrélations entre rendement et pratiques culturales sont délicates à établir, en raison du nombre de variables qualitatives à prendre en compte (type de sol, précédent, travail du sol…), et du faible nombre d'expériences par combinaison de pratiques. En ajoutant les expériences recueillies lors de l'enquête de 2016, il est néanmoins possible d'observer des tendances de rendement supérieur en cas d'application d'herbicide, de travail du sol ou d'irrigation. La figure 27 indique que le précédent cultural n'est pas un facteur explicatif du rendement. L'année semble avoir plus d'influence. 2015 a été très favorable (pluviométrie plus importante) au sarrasin à l'inverse de 2016. Par exemple le rendement (normé à 15 % d'humidité) a été d'environ 5 q/ha en 2017, tandis qu'il dépasse les 10 q en 2015 quel que soit le précédent (fig. 27). L'hypothèse émise en 2016 que le pois d'hiver permet un rendement légèrement plus élevé que l'orge d'hiver ne se vérifie pas avec cette étude. Cela justifie le fait qu'il faut étudier la rentabilité des cultures dérobées de façon interannuelle et non pas annuelle afin de prendre en compte la variabilité climatique.

4.2.3 Les cas-types choisis

À la vue des expériences répertoriées, la différenciation de cas-types s'est portée sur les pratiques les plus répandues. Les trois précédents principaux sont : orge d'hiver (31 %), le blé tendre (25 %) et le pois d'hiver (19 %) (fig. 26). Le blé dur représente 12 % des précédents et possède les mêmes dates de récolte que le blé tendre (FranceAgriMer, 2018), ces deux précédents ont donc été regroupés dans les cas-types. Le tableau 7 présente les 7 cas-types choisis qui ont été utilisés pour l'évaluation multicritères économique, environnementale et agronomique.

Tableau 7 : Cas-types retenus après l'analyse des expériences des agriculteurs et utilisés pour l'évaluation multicritères

	Blé-NT-TCS	OH-NT-TCS	PH-NT-SD	Blé-NT-SD	OH-T-SD	Blé-T-SD	Optimum
	Absence d'herbicide				Herbicide		
	Travail du sol		Semis direct		Semis direct		
Précédents	Blé	Orge d'hiver	Pois d'hiver	Blé	Orge d'hiver	Blé	Orge d'hiver / Pois d'hiver
Sol	Argilo-calcaire						
Travail du sol (TCS)	Déchaumeur disques/dents		Aucun				
Date de semis	14-juil	01-juil	01-juil	14-juil	01-juil	14-juil	01-juil
Matériel de semis	Combiné de semis		Semoir de semis direct à disques ou socs				
Variété	La Harpe						
Densité de semis	35 kg/ha		40 kg/ha				
Profondeur de semis	2 - 3 cm						
Inter-rangs	10 - 25 cm						
Désherbage	Aucun				Herbicide Fusilade Max® à 1 l/ha en post-semis		
Fertilisation	Aucune						50 kg/ha N derrière Orge
Irrigation	Aucune						50 mm
Date de récolte	Autour du 25/10						
Matériel de récolte	Moissonneuse-Batteuse classique, coupe à céréales						
Humidité	20 à 25 %						
Culture suivante	Blé tendre, orge d'hiver ou culture de printemps						
% d'expériences représentées (enquêtes 2018)	10 %	9 %	12 %	16 %	10 %	10 %	3 %

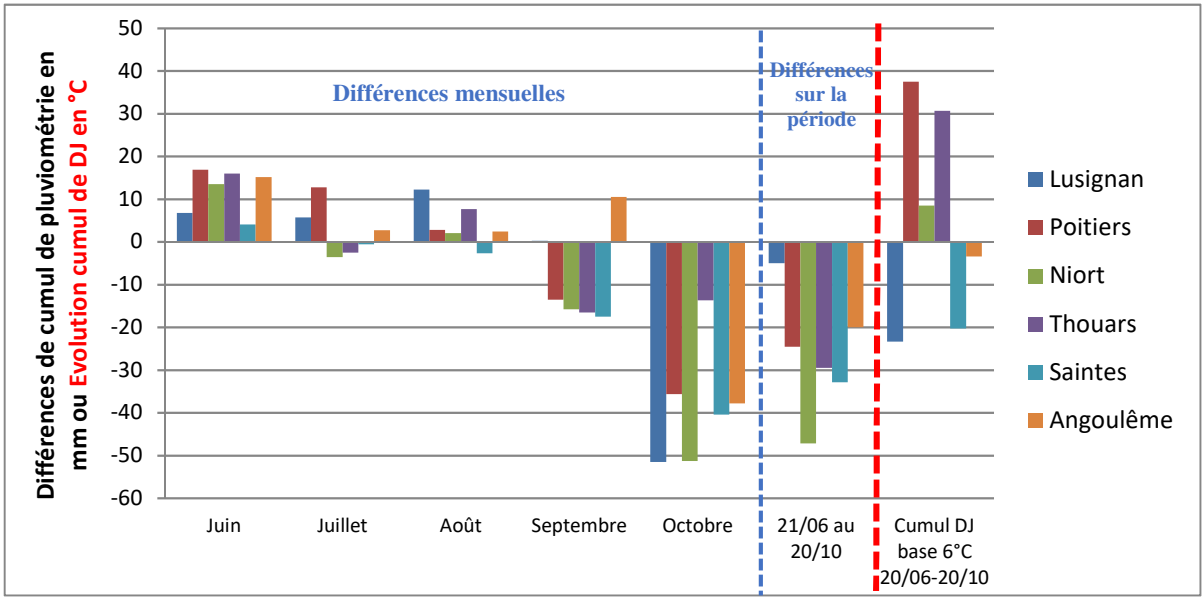


Figure 28 : Différences de cumuls de pluviométrie et de degrés jours (DJ) base 6 °C, entre les périodes 2004-2017 et 1990-2003, pour les 6 stations climatiques de Poitou-Charentes. Les calculs ont été effectués à partir des valeurs médianes mensuelles (ou 21/06-20/10) de chaque période.

Comme le montre le tableau 6, c'est l'utilisation d'herbicides et le travail du sol qui opposent le plus les ITK. C'est donc ces 2 informations qualitatives qui distingueront les cas-types, en plus des précédents. Le travail du sol est le plus souvent absent avec une utilisation d'herbicide et n'est pas non plus utilisé pour un précédent pois. Par ailleurs derrière le pois, le sarrasin n'est que rarement désherbé et cela n'est pas forcément justifié comme les repousses sont moins présentes qu'après les céréales. Le précédent pois sera donc sans herbicide et en SD **(PH-NT-SD).** Pour les sarrasins après orge, il est préférable d'après les enquêtes de travailler le sol **(OH-NT-TCS)** ou de désherber **(OH-T-SD)** car les repousses peuvent être très préjudiciables au rendement. C'est aussi le cas pour le blé **(Blé-NT-TCS et Blé-T-SD)** mais le nombre d'expériences en précédent blé sans herbicide ni travail du sol étant conséquent, cette situation **(Blé-NT-SD)** a été conservée dans les cas-types. Enfin, un cas type « **Optimum** » a été construit pour les agriculteurs qui souhaitent maximiser le rendement mais avec un investissement plus conséquent avec de l'irrigation et de la fertilisation. Cette dernière n'est pas toujours justifiée d'après la bibliographie (Schulte auf'm Erley *et al*., 2005) mais l'apport de 50 kg/ha d'azote (N) semble pouvoir augmenter légèrement le rendement (Fang *et al*., 2018 ; Babůrková *et al*., 2000).

Le sol a été défini comme étant argilo-calcaire, celui-ci représentant 70 % des expériences. Les dates de semis ont été déterminées en faisant la moyenne par précédent cultural. La densité de 40 kg/ha semble d'après les enquêtés, adaptée pour faire un compromis entre salissement de la parcelle et rendement, celui-ci étant favorisé par une densité faible (Babůrková *et al*., 2000 ; Fang *et al*., 2018). En cas de travail du sol, elle est en moyenne plus faible et cela s'explique par une moindre perte à la levée qu'en SD. Pour le désherbage, c'est l'antigraminées Fusilade Max® (famille Aryloxyacide) qui a été choisi pour lutter contre les repousses. Il est le seul produit phytosanitaire homologué sur céréales et autorisé sur sarrasin et peut être appliqué en post-semis contrairement au glyphosate. En revanche son coût est plus élevé.

La date de récolte est en moyenne autour du 25/10. Cela n'oblige pas à mettre de CIPAN (obligatoire avant le 15/10). De plus d'après les exploitants, une gelée, même faible, permet de faciliter la récolte. Pour le matériel, toutes les moissonneuses conventionnelles ou non semblent adaptées pour le sarrasin. Certains préfauchent le sarrasin pour qu'il puisse être récolté plus tôt et plus sec mais le coût est élevé. L'humidité est généralement située entre 20 et 25 % et le séchage est rarement évité, la norme étant fixée à 15 %. La culture suivante est très variée mais il s'agit souvent d'un blé ou d'un maïs. Le tournesol est à éviter à cause des repousses de sarrasin difficiles à détruire.

4.3 Étude climatique

4.3.1 Choix des données météorologiques

L'étude de la pluviométrie et de la température sur les 6 stations climatiques durant la période juin à octobre a permis de constater que même sur une période relativement courte (28 années), l'évolution du climat n'est pas négligeable. En effet, la figure 28 montre une légère augmentation du cumul de pluviométrie pour les mois de juin, juillet et août de l'ordre de 0 à 10 mm. Cela peut représenter néanmoins une hausse de 50 %. À l'inverse des diminutions d'environ 15 mm en septembre, et de 30 mm en octobre, sont observées. Ces variations sont plus ou moins prononcées suivant les stations mais montrent à l'heure actuelle que les étés ont tendance à être plus pluvieux et les automnes plus secs. Sur la période juin à octobre, le cumul est en baisse. Le cumul de DJ ne fluctue pas beaucoup par rapport au total sur la période et est très variable selon la région.

Tableau 8 : Besoins en degrés jours (DJ) en base 6°C du sarrasin pour atteindre chaque stade, utilisés pour l'analyse climatique (Braconnier, Glandard, 1952)

Stades	Besoins en DJ base 6°C
Semis – Levée	106
Semis – Début floraison	477
Semis – Début Maturité Physiologique	1060

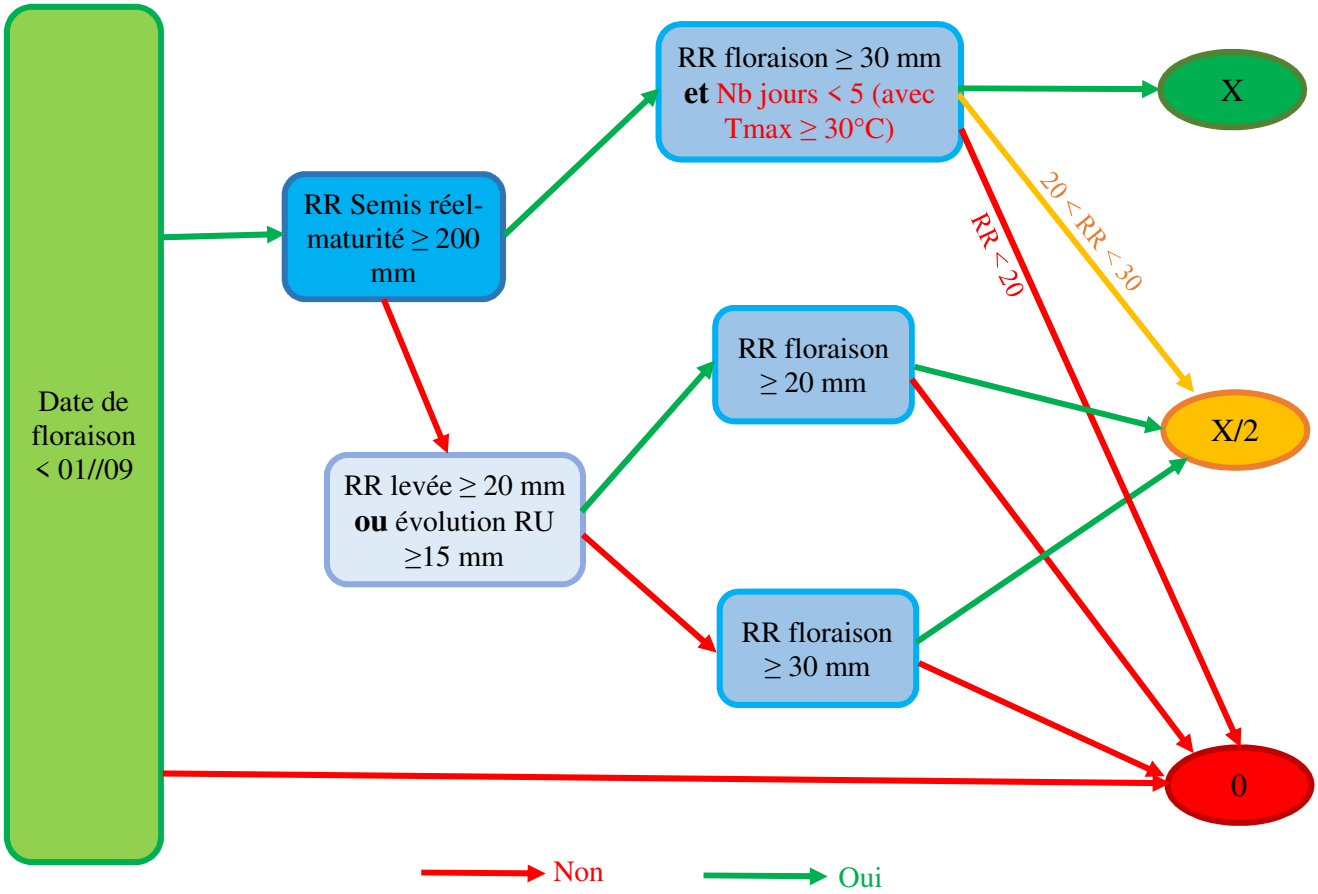


Figure 29 : Arbre de décision pour l'estimation du rendement du sarrasin en fonction des conditions climatiques (pluviométrie : RR), utilisé pour le calcul de la fréquence de réussite potentielle à partir des données de la période 1990-2017 (sauf l'indicateur « Nb jours où Tmax ≥ 30 °C » par manque de données)

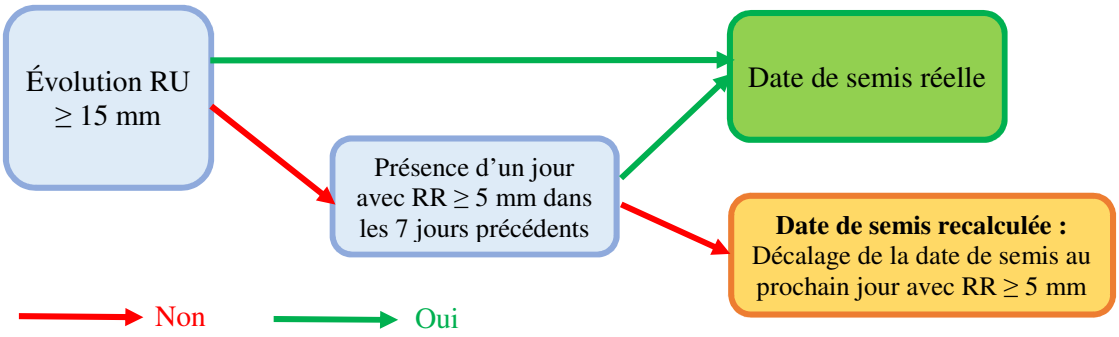


Figure 30 : Arbre de décision du décalage ou non de la date de semis jusqu'au prochain jour de pluie

Pour les cultures dérobées, ce changement pourrait être favorable puisque les besoins en eau seraient mieux couverts en début de cycle, et la récolte en octobre pourrait se faire dans de meilleures conditions. Cependant la variation interannuelle reste très forte (cf. fig. 8) et ne permet pas de conclure que cette tendance va perdurer même si les prévisions sur le long terme vont dans ce sens (cf. fig. 9). Il a donc été décidé de réaliser l'étude climatique sur l'ensemble de la période c'est-à-dire de 1990 à 2017.

4.3.2 Connaissances sur les critères de réussite

- **Besoins en températures**

L'étude climatique s'est basée sur les données du tableau 8 pour le calcul des dates de stades. D'après une étude menée en Corée du Sud, 440 à 470 DJ sont nécessaires pour atteindre la floraison et ensuite 630 pour atteindre la maturité pour un semis le 11 juillet (Cha *et al*., 1989), ce qui conforte les résultats pris pour l'étude. Edwardson a montré en 1995 aux États-Unis que le sarrasin a 75 % de ses grains à maturité pour 1173 DJ en base 5°C. Cependant, la température de base est variable selon les études : 5°C (Gorski, 1986), 11,1°C (Angus *et al*., 1980), et plus récemment 7,8 °C (Tribouillois *et al*., 2016). La température de base de 6 °C a été tout de même conservée car ces études ne donnent pas les estimations des besoins en DJ de chaque stade.

L'étude de 2016 a déjà démontré que la fréquence de satisfaction des besoins en température du sarrasin est de 100 % pour toutes les stations climatiques.
Concernant les fortes températures, elles ont été démontrées comme limitantes pour le rendement dès 25 °C (en continu dans l'étude) en particulier durant les 3 premières semaines après le début de la floraison (Slawinska, Obendorf, 2001).

- **Besoins en eau**

D'après la bibliographie et les enquêtes, les stades sensibles au stress hydrique sont la levée et la floraison. D'après Slawinska et Obendorf, 3 jours déficit hydrique au début de la floraison peut suffire à faire chuter le nombre de graines de 50 % et l'effet de ce stress continue même après la fin de celui-ci. La pluviométrie à floraison était donc le principal facteur discriminant de la réussite du sarrasin.

4.3.3 Arbre de décision

Sa construction s'est basée sur les expériences rapportées par les enquêtes de 2016 et 2018, situées en Poitou-Charentes et dont il ne manquait pas d'informations importantes, soit 75 expériences. Il est présenté en figure 29. Pour vérifier si l'arbre fonctionnait pour une expérience donnée, il a été décidé qu'un rendement supérieur à 10 q/ha serait considéré comme une réussite (X), situé entre 5 et 10 comme une « demi réussite » (X/2), et inférieur à 5 comme un échec (0). Les irrigations éventuelles ont été ajoutées aux cumuls de pluviométrie.

Après les calculs des dates de stades, il a été remarqué que les dates de maturité théoriques étaient souvent beaucoup plus précoces que les vraies dates de récolte. Il a été supposé que cela était causé par un manque d'eau après le semis ce qui a ralenti le développement du sarrasin. Pour atténuer ce biais il a été choisi que les dates de semis seraient recalculées en fonction de la pluviométrie avant et après la date de semis réelle. Des règles de décisions ont été créées pour cela (fig. 30). Il a été considéré également que si le sarrasin atteint le stade de floraison seulement à partir du 01/09, la culture serait un échec car le stade maturité risque de ne pas être atteint.

Les indicateurs choisis (cf. p. 10) et dont les plages de calcul ont été fixées à 21 jours, ont été ajustés (nombre de jours avant les stades : 7, et après : 13). Une fois leurs valeurs calculées, parmi les deux indicateurs se basant sur les températures maximales (Nb de jours

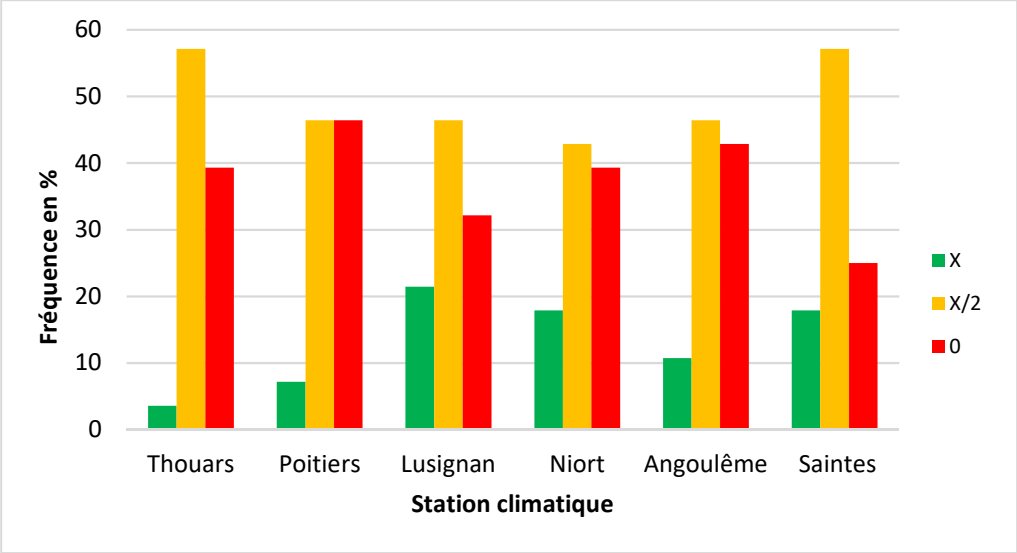


Figure 31 : Fréquence de réussite potentielle déterminée avec l'arbre de décision sur la période 1990-2017 pour les 6 stations climatiques et pour une date de semis réelle au 5 juillet

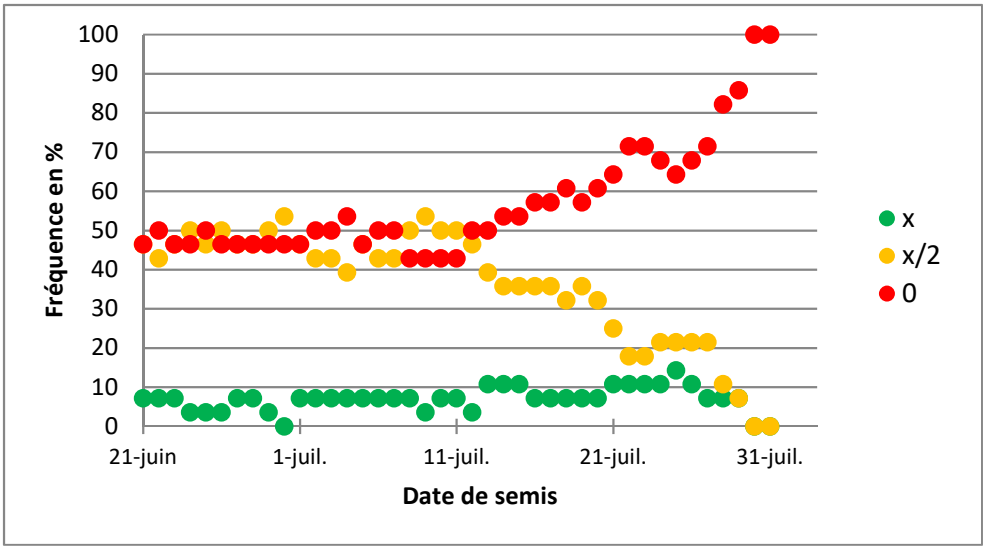


Figure 32 : Évolution de la fréquence de réussite 2en fonction de la date de semis (données climatiques Poitiers, 1990-2017)

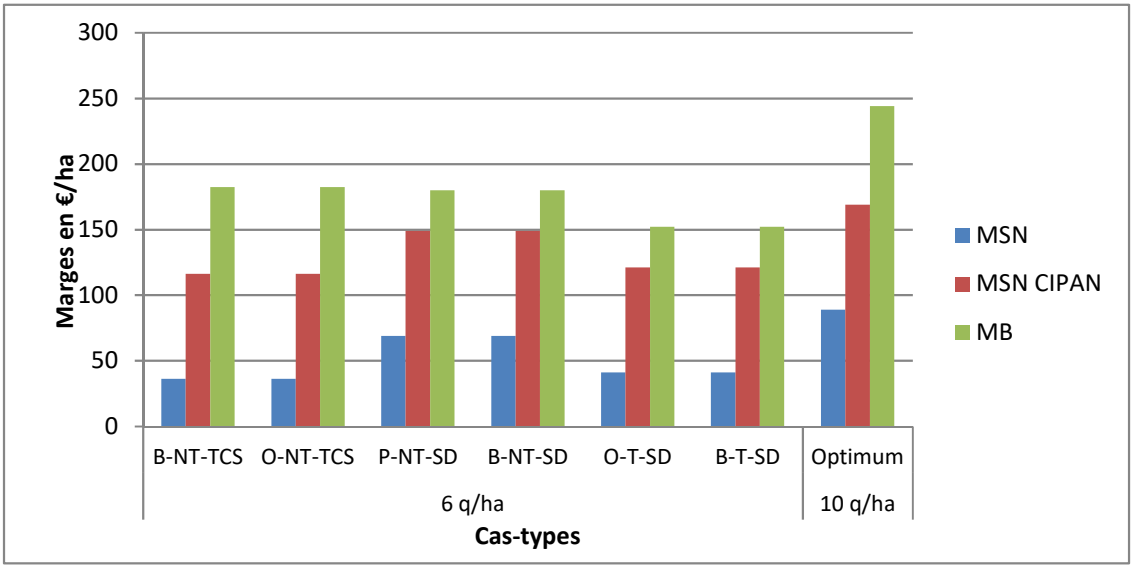


Figure 33 : Marges Brutes (MB), semi-nette (MSN) et semi-nette avec prise en compte du coût d'une CIPAN (MSN CIPAN), pour les 7 cas-types (tab. 7) en €/ha, calculées pour les rendements moyens obtenus avec ou sans irrigation (10 et 6 q/ha) et pour un prix de vente de 350 €/t (normé à 15 %), avec utilisation de semences de ferme

où la température maximale dépasse une température seuil, et Moyenne Tmax), seul le premier a montré des résultats intéressants pour expliquer le rendement. Afin de considérer l'impact des fortes températures, deux approches ont été testées : calculer le nombre et calculer la moyenne des températures maximales, pour une période définie.

Globalement, une pluviométrie du semis à la maturité supérieure à 200 mm a été considérée comme favorable à la culture. En cas de pluviométrie inférieure c'est la répartition de celle-ci dans le cycle du sarrasin qui a permis d'obtenir ou non une « demi réussite » (X/2). La pluviométrie à floraison est également déterminante et peut faire chuter fortement le rendement si elle est inférieure à 30 mm sur les 21 jours. Elle peut à l'inverse permettre de rattraper un déficit hydrique en début de cycle. La pluviométrie à la levée et l'évolution de la RU avant le semis, semblaient moins importantes pour le rendement, donc ces deux indicateurs ont été associés pour se compenser.

Cet arbre permet d'estimer 64 % des 75 expériences. Les autres ne sont pas explicables avec ses règles de décision. Les remarques des agriculteurs ont pu permettre de comprendre pourquoi certaines expériences ont eu un rendement plus faible ou plus élevé que celui attendu (pluies très locales, situations d'enherbement, pertes à la récolte, manque de pollinisation, techniques de semis…)

4.3.4 Fréquence de réussite

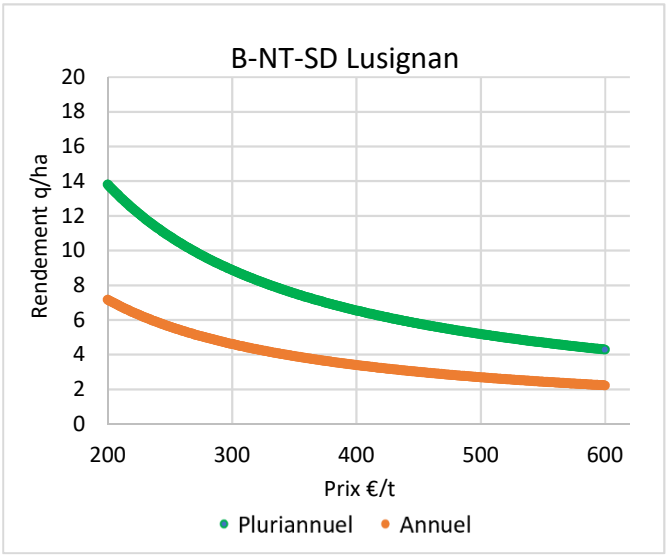
Pour ce calcul l'indicateur « Nb jours avec Tmax > Tseuil » décrit dans l'arbre de décision n'a pas pu être utilisé par manque de disponibilité des données sur les températures maximales journalières ce qui a rendu les résultats plus « optimistes » vis-à-vis de la réussite du sarrasin. La date de semis réelle a été fixée au 5 juillet, soit environ la date moyenne des expériences des enquêtes. Mais pour le calcul des fréquences de réussite, la date de semis recalculée (cf. p. 16, fig. 30) a bien été utilisée. Les fréquences de réussite sont très variables selon les stations (fig. 31). Les régions les plus défavorables sont celles de Thouars et Poitiers avec respectivement 4 et 7 % de rendements X. Elles sont bien situées dans la zone la plus sèche de la région (cf. p.5). Celles de Lusignan, Niort et Saintes semblent les plus favorables à la réussite du sarrasin avec environ 20 % de rendement X. La région d'Angoulême est intermédiaire. Pourtant lors de l'étude climatique de 2016 elle a été montrée comme un étant la plus propice au sarrasin.

Pour la station de Poitiers, l'effet de la variation de la date de semis sur la fréquence de réussite a été étudié (fig. 32). Entre le 21/06 et le 11/07, elle reste stable à 6 % pour un rendement X, et 47 % pour X/2 et 0. Plus tard, la fréquence de rendement 0 augmente tandis que X/2 diminue et X reste stable. Il en ressort que plus la date de semis est tardive, plus la culture risque d'être un échec. Cela est principalement causé par le fait que la date de floraison ne peut dépasser le 01/09 dans l'arbre de décision. De plus un semis très précoce n'augmente pas la fréquence de réussite. L'idéal est donc de semer avant la mi-juillet.

4.4 Performance économique

4.4.1 Étude économique annuelle

Les marges de la figure 33 ont été calculées à partir des 7 cas-types établis (tab.7). Les prix utilisés pour calculer les charges sont présentées en Annexe III. Le prix de de vente de 350 €/t correspond à ce qui a été relevé dans les enquêtes pour l'année 2017. Les rendements ont été différenciés seulement entre irrigation (cas-type Optimum) et absence d'irrigation. Les frais de séchage ont été déduits du prix de vente pour une humidité moyenne soit 20 €/t (enquêtes). Les semences de ferme permettent de réduire de 50 à 60 €/ha les charges opérationnelles par rapport aux certifiées. Avec ces dernières, les MSN seraient tout juste à 0.



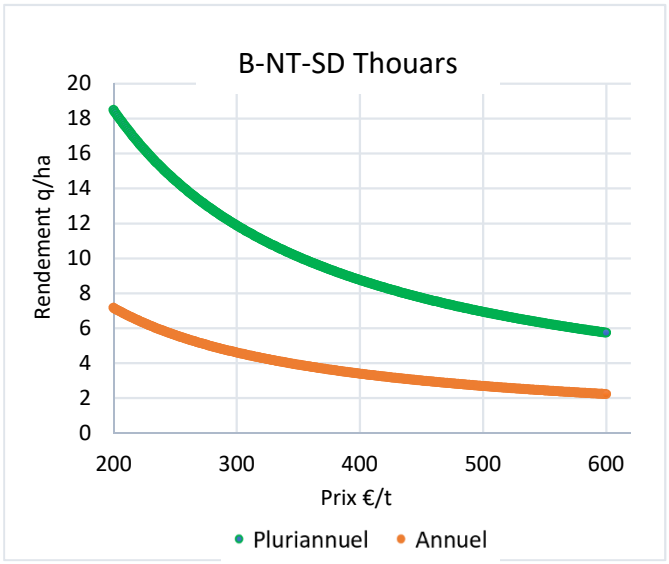
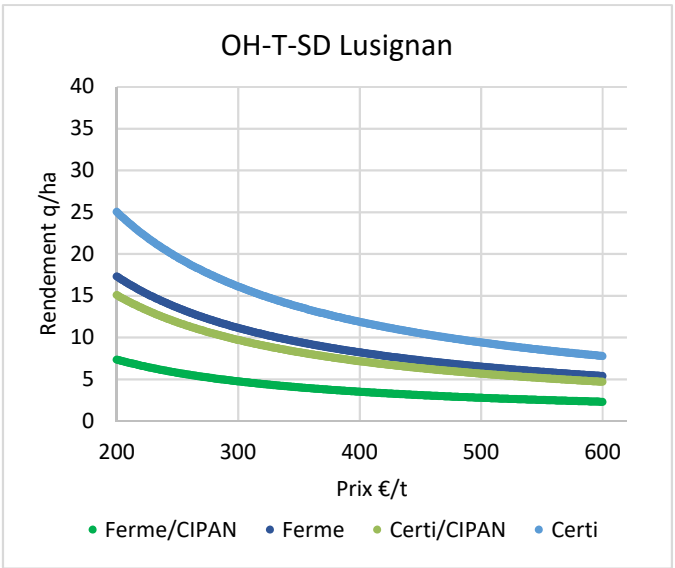


Figure 34 : Graphiques comparant le rendement seuil annuel (RSA) et le rendement seuil pluriannuel (X de l'arbre de décision) pour le cas-type B-NTr-NT, pour les stations de Lusignan et Thouars, avec utilisation de semences de ferme et sans prise en compte du coût d'une CIPAN



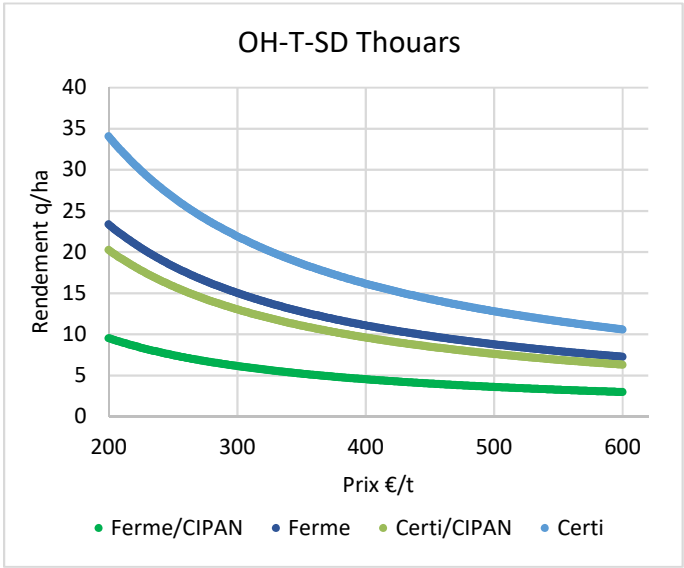


Figure 35 : Graphiques présentant le rendement seuil pluriannuel (X) pour différentes situations sur les stations de Lusignan et Thouars et pour le cas-type OH-T-SD :

- Ferme/CIPAN : semences de ferme **et** prise en compte du coût d'une CIPAN
- Ferme : semences de ferme **sans** prise en compte de la CIPAN
- Certi/CIPAN : semences certifiées **et** prise en compte du coût d'une CIPAN
- Certi : semences certifiées **sans** prise en compte de la CIPAN

mis à part les frais de récolte ce qui augmente fortement la MSN lorsqu'il est pris en compte.

Peu de différence est observée entre cas-types. Les P-NT-SD et B-NT-SD ont un rendement un peu supérieur comme les charges sont plus faibles. La MSN du cas-type Optimum n'est pas beaucoup plus élevée à cause des charges plus élevées (considéré en précédent orge pour l'apport d'azote). Pourtant le rendement est supérieur et la réussite n'est jamais assurée même avec des besoins en eau.

4.4.2 Étude pluriannuelle avec le risque climatique

Pour que la culture du sarrasin soit rentable sur le long terme, les années de récolte doivent compenser les années d'échec. Les fréquences potentielles de réussite ont permis le calcul des Rendements seuils pluriannuels (RSP) et ceux-ci ont été comparés aux Rendements seuil annuels (RSA). Les résultats présentés seront ceux de Lusignan et Thouars comme ce sont celles qui s'opposent le plus pour la fréquence de réussite (cf. p. 17). La figure 34 montre que le RSP est bien supérieur au RSA (cas-type B-NT-SD) et de façon plus importante pour la station de Thouars que celle de Lusignan.

Dans la situation présentée (semences de ferme et sans prise en compte du coût CIPAN), 7,5 q/ha les années de réussites (X dans l'arbre de décision) suffisent au sarrasin pour équilibrer les coûts sur le long terme à Lusignan pour un prix de 350 €/t ce qui est tout à fait accessible. Mais à Thouars il faut atteindre 10 q/ha, rendement qui est difficile à atteindre. Certaines régions vont donc être beaucoup plus propices à l'implantation du sarrasin.

Le prix de vente est également déterminant. 350 € est un prix faible qui est dû au fait que le marché était saturé en 2017. Si les surfaces diminuent, il va remonter. À titre indicatif il était d'après les enquêtés à plus de 500 €/t avant 2016. La figure 35 nous montre que la rentabilité économique de la culture du sarrasin dépend aussi beaucoup du fait de produire ou non ses semences. La différence s'accentue lorsque le prix de vente est plus faible. Pour un prix de 350 €/t la différence est de 4 à 6 q/ha. La prise en compte du coût d'une CIPAN qui a été évité en implantant une dérobée, diminue également beaucoup le rendement seuil. La différence est de 5 à 8 q/ha, pour un prix de vente de 350 €/t, en fonction de la station.

Globalement, à Lusignan, la culture du sarrasin en dérobée est au minimum à l'équilibre, dans toutes les situations tant que le prix de vente reste supérieur à 300 €/t. À Thouars, en revanche, étant donnée la difficulté pour atteindre 10 q/ha, la culture ne sera rentable que si le coût d'une CIPAN a été pris en compte, et il sera important de minimiser au maximum les frais. Si l'agriculteur a pour habitude de laisser son sol nu durant l'interculture (entre un pois d'hiver et un blé par exemple), le sarrasin en dérobée ne sera pas rentable sauf avec un prix plus élevé.

Concernant le cas-type optimum, le RSP à atteindre est de 15 q/ha pour un prix de 350 €/t. Ce rendement est atteignable d'autant plus que les 50 mm d'eau apportés n'ont pas été comptabilisé pour le calcul de la fréquence de réussite. Le RSP à atteindre est donc certainement bien plus faible. Cependant le temps de travail supplémentaire pourrait diminuer l'intérêt de cet ITK.

4.4.3 Rémunération de travail

Les agriculteurs précisent généralement que le temps de travail est faible pour le sarrasin et équivalent à l'implantation d'une CIPAN. Cependant il ne faut pas qu'il rentre en concurrence avec les travaux nécessaires aux cultures principales. Semer au plus près de la récolte n'est pas toujours possible et demande de la main d'œuvre supplémentaire. Cela peut causer un intervalle de temps relativement long entre la date de récolte et la date de semis de la dérobée. Pour la récolte il est nécessaire que le matériel puisse être à disposition (récolte de maïs), et qu'il y ai du temps disponible (semis du blé). Les agriculteurs doivent être autonomes pour le matériel.

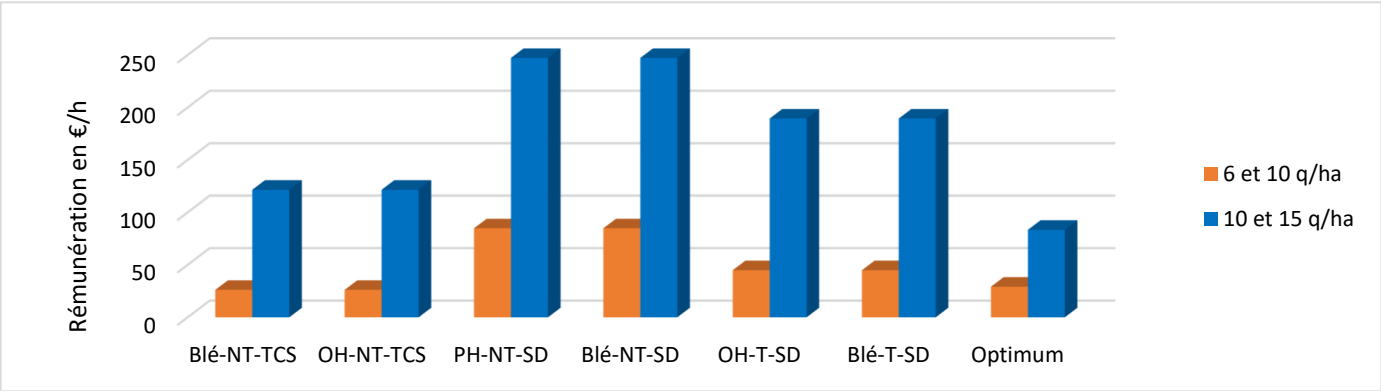


Figure 36 : Rémunération du travail pour chaque cas-type en €/ha pour 2 situations de rendement :

- 6 q/ha et 10 q/ha pour le cas Optimum
- 10 q/ha et 15 q/ha pour le cas Optimum

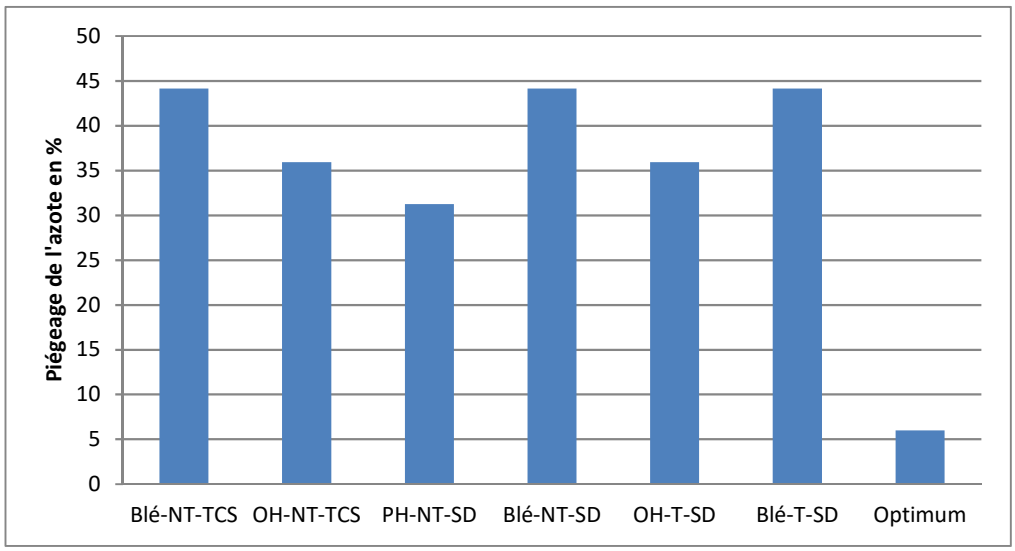


Figure 37 : Efficacité du piégeage de l'azote pour les 7 cas-types en % du Reliquat Début Drainage d'un sol nu

La rémunération par heure de travail avec le sarrasin peut être élevée à condition de faire un rendement correct, et de minimiser au maximum les charges et donc les interventions comme le désherbage ou le travail du sol (fig. 36). Le cas-type Optimum, même avec un rendement supérieur apporte une rémunération faible à cause de l'irrigation (30 min/position d'enrouleur et 4 positions/ha, soit 2 h/ha). Par ailleurs, les temps de manutention ne sont pas comptabilisés et peuvent être très importants notamment en cas de séchage sur la ferme.

Le fait que la quantité de travail soit importante ou non va donc dépendre du système de culture de l'exploitation et des priorités qui sont données.

4.5 Performance environnementale

4.5.1 Efficacité du piégeage de l'azote

L'efficacité de piégeage de l'azote par rapport à un RDD de sol nu est de 30 à 45 % en fonction du cas-type et en particulier du précédent cultural (figure 37). Elle est très faible pour le cas-type Optimum à cause de la fertilisation azotée apportée (50kg/ha). En comparaison, une CIPAN composée de crucifères a une efficacité de l'ordre de 60 % et de 50 % pour des repousses de céréales (Callewaert, 2016). Le sarrasin présente donc une efficacité intéressante mais non optimale pour un objectif de piégeage des nitrates.

4.5.2 Utilisation des produits phytopharmaceutiques

Pour le sarrasin, l'application de produits se limite seulement au désherbage. Aucun fongicide ou insecticide n'est nécessaire d'après les agriculteurs. Le plus souvent ils ont appliqué du glyphosate avant le semis, afin de détruire les repousses du précédent cultural, à une demi-dose (soit 1,5 L/ha de produit dosé à 360 g/L). Leur IFT était donc de 0,5. Cependant la majorité des expériences recueillies ne comportaient pas d'usage d'herbicide. Pour les cas-types OH-T-SD, Blé-T-SD et Optimum, l'application de Fusilade Max® à 1 L/ha (dose homologuée à 1,5 L/ha) donne un IFT de 0,7. Il reste donc très modéré et n'augmentera pas celui de la rotation. Cependant les agriculteurs utilisant du glyphosate, pourraient à l'avenir avoir plus de difficultés à gérer les repousses si la molécule est finalement interdite.

4.6 Impacts agronomiques

Pour les agriculteurs l'impact des dérobées est important à connaitre car pour eux les cultures de rente principales doivent être réussies prioritairement.

Ils n'ont pas remarqué d'impacts négatifs sur le rendement de la culture suivante. Cependant certains ont eu des problèmes de repousses de sarrasin en particulier dans les tournesols qui ne peuvent être désherbés facilement. Il a aussi parfois été remarqué un retard de croissance pour le blé, peut-être dû à un manque d'azote. Le sol peut être déstructuré si la récolte est faite dans de mauvaises conditions. Par ailleurs en cas de semis d'une culture d'hiver, une récolte trop tardive peut retarder les dates de semis.

Dans les bénéfices répertoriés, le sarrasin semble être allélopathique (50 % des enquêtés) et pourrait être capable de remobiliser du phosphore (15 %). Mais certains enquêtés trouvent que le sarrasin a tendance à augmenter le salissement de la parcelle durant sa présence. Une faible densité et un faible développement pourraient en être la cause. Ils ont aussi signalé une bonne restructuration du sol et l'intérêt d'intégrer une nouvelle famille dans la rotation pour rompre le cycle des bioagresseurs (Polygonacée).

D'après la bibliographie le sarrasin semble bien être capable d'absorber efficacement du phosphore lié au calcium. Sa capacité à prélever le phosphore sous forme inorganique est notamment très supérieure à celle du blé (Teboh, Franzen, 2011 ; Zhu *et al.*, 2002).

5 Discussion

5.1 Discussion de la méthode

- **Manque de données bibliographiques**

L'étude nécessitait des données physiologiques assez précises (besoins en degrés jours pour chaque stade, développement en fonction des besoins en eau…). Les informations utilisées pourraient être précisées avec la réalisation d'essais dédiés. Pour l'évaluation de la fréquence de réussite, il manquait également d'informations sur les méthodes disponibles pour ce type d'étude. Cette méthode a par conséquent due être créée.

- **Enquête des agriculteurs**

L'échantillon enquêté est conséquent mais n'est pas exhaustif. Les agriculteurs n'ont pas forcément souhaité communiquer leurs expériences négatives, celles-ci étant rapidement oubliées. Pourtant elles étaient aussi importantes que les réussites pour la détermination des pratiques et des conditions climatiques favorables. Cependant lors de la prise de contact par téléphone, cette importance a été bien précisée ce qui a tout de même permis d'en recueillir.

Les informations obtenues par ces enquêtes n'ont pas toujours été très précises en ce qui concerne le rendement exact et les dates de semis et récolte. Cela est dû à un manque d'enregistrement des données de leur part. Ils se souvenaient de l'année précédente mais plus difficilement des plus anciennes. Les quelques imprécisions obtenues ont pu entrainer un certain biais pour la suite de l'étude et en particulier pour l'étude climatique.

Pour la constitution des cas-types, une analyse statistique aurait pu être intéressante mais le nombre d'expériences était trop faible et les valeurs recueillies très dispersées. De plus le nombre d'expériences par combinaison de pratiques n'est pas toujours le même et pouvait être unique. Une Analyse à Composantes Principales (ACP) n'aurait donc pas forcément permis de déduire plus facilement des relations entre variables qualitatives (pratiques) ou quantitatives (rendement, dates).

- **Choix des cultures**

Il a été décidé que l'évaluation multicritère ne serait faite que sur le sarrasin car les autres cultures étaient trop peu représentées dans les enquêtes. Mais cela ne signifie pas qu'elle est la seule culture intéressante. Le sarrasin présentait un débouché intéressant et a donc été davantage choisi par les agriculteurs. Le colza associé au sarrasin est une pratique intéressante et qui semble fonctionner pour plusieurs d'entre eux mais l'étude climatique n'était pas envisageable car les besoins en eau d'un mélange de cultures sont difficilement évaluables.

- **Évaluation multicritère**

Il a été choisi qu'elle ne serait pas faite sur l'impact de l'introduction de la dérobée sur le système de culture. En effet, trop peu d'informations sont disponibles sur l'impact de la dérobée sur la culture suivante. Les agriculteurs n'ont pas suivi spécifiquement les parcelles pour pouvoir donner des informations fiables. De plus, les rotations sont très diversifiées car les agriculteurs sont très flexibles sur les cultures implantées après la dérobées. De surcroit, cela aurait nécessité de réaliser des enquêtes longues et donc un nombre plus faible d'expérience auraient été recueillies. Seul l'effet de la culture précédente a donc été pris en compte.

- **Étude climatique :**

Les données météorologiques ont pu apporter un biais supplémentaire car les stations climatiques retenues étaient parfois éloignées des parcelles (5 à 40 km). Les pluies très localisées (en particuliers les orages durant l'été) peuvent ne pas avoir été comptabilisées. L'idéal serait d'avoir une mesure de la pluviométrie à la parcelle.

L'étude climatique aurait pu aussi bénéficier d'une ACP pour voir quels indicateurs climatiques expliquaient le plus le rendement. Mais cela aurait aidé seulement au choix des indicateurs à intégrer dans le modèle, mais pas à la détermination des valeurs seuils des règles de décision.

Un bilan hydrique du sol au moment du semis aurait aussi été beaucoup plus adapté que l'estimation de son évolution sur 3 semaines (méthode Irré-LIS®). Cela aurait permis de comprendre plus précisément quelles sont les conditions nécessaires à la levée du sarrasin. Le décalage artificiel de la date de semis a tout de même permis de faire mieux coïncider les calculs des stades avec les observations des agriculteurs et le rendement théorique au rendement réel, mais cette démarche trouve ses limites dans le manque de précision géographique des données climatiques.

L'impact des fortes températures n'a pas pu être calculé sur la période 1990-2017 par manque de données disponibles sur les stations climatiques (Tmax), ce qui a entrainé certainement une surestimation de la fréquence de réussite.

L'arbre de décision pourrait être amélioré et les valeurs seuils des règles de décision précisées, avec des études spécifiques pour déterminer les besoins en eau de la culture.

5.2 Discussion des résultats

- **Les cas-types**

Ils représentent des pratiques moyennes et ont permis de réaliser l'étude de la fréquence de réussite mais ne représentent pas toute la diversité observée chez les agriculteurs.

- **L'intérêt économique**

Cette étude a permis de montrer que la rentabilité du sarrasin va dépendre du prix de vente, des conditions climatiques et de la production de semences de ferme. Les différentes fréquences de réussites obtenues pour les 6 stations sont en accord. En effet les régions les moins favorables, Thouars, Poitiers et Angoulême, se situent bien dans les régions à plus faible pluviométrie (cf. p.5). De plus l'estimation de la réussite par l'arbre de décisions pour les années 2015, 2016 et 2017, correspond à ce qui a été effectivement observé lors des enquêtes auprès des agriculteurs.

La Chambre d'Agriculteur de Champagne-Ardenne estimait en 2016 un seuil de rentabilité de 4 q/ha à 400 €/t ce qui est semblable aux valeurs obtenues dans cette étude. Néanmoins, dans cette étude le risque climatique a été pris en compte ce qui permet d'avoir une vision sur le long terme de la rentabilité du sarrasin et pas seulement sur les années favorables. Cela porte le rendement seuil à 7 q/ha à Lusignan et à 9 q/ha à Thouars (cf. p.18 fig. 34) pour le cas-type en précédent blé sans herbicide ni travail du sol.

Il a été montré que le sarrasin est rentable sur le long terme avec un prix dès 300 €/t pour les 3 stations les plus favorables en utilisant des semences de ferme. Mais cela ne veut pas dire que les gains sont très conséquents. Il faut également les relativiser par rapport au temps de travail. Le matériel qu'ils utilisent détermine aussi le coût de mécanisation ce qui peut faire varier fortement le seuil de rentabilité. En effet certains utilisent du vieux matériel qui est déjà amorti et a donc un coût plus faible.

La rentabilité du sarrasin apparait encore plus intéressante en prenant en compte le coût qu'il faudrait engager pour un implanter une CIPAN. Mais cela n'est valable que s'il est considéré que la CIPAN n'a aucun impact agronomique et économique sur le système de culture.

- **L'intérêt environnemental et agronomique**

Le sarrasin a un effet intéressant en ce qui concerne le piégeage de l'azote. Mais contrairement aux légumineuses il n'enrichit pas le sol en azote par la fixation symbiotique de

l'azote de l'air. De plus les effets du sarrasin sur la structure du sol, la remobilisation du phosphore ou encore les adventices, ne lui sont pas exclusifs. Ils sont encore à étudier pour pouvoir juger de son intérêt par rapport aux autres. Par conséquent certains agriculteurs préfèrent, pour améliorer la résilience de leur exploitation, investir pour optimiser leurs couverts végétaux ou « engrais verts », plutôt que d'investir dans une culture dont ils ne sont pas assurés de la rentabilité.

5.3 Perspectives

Pour faire suite à cette étude, davantage de références techniques sur les cultures envisageables sont nécessaires pour évaluer leur rentabilité. Cela passe par l'acquisition de données sur la physiologie des cultures, par exemple en effectuant un « screening » des espèces et variétés.

Il serait également intéressant de tester et d'améliorer de nouveaux ITK comme le semis à la volée avant la moisson. Il permettrait d'implanter le sarrasin avant la récolte de la culture précédente.

L'évaluation de cette pratique aurait aussi pu concerner les avantages sociaux qui n'ont pas été abordés dans l'étude. Par exemple le sarrasin est mellifère et les apiculteurs laissent souvent leurs ruches autour ou dans les parcelles. D'ailleurs le manque de pollinisation a souvent été noté comme limitant pour le rendement par les agriculteurs.

L'effet de l'insertion du sarrasin sur l'ensemble de la rotation au niveau de ses impacts agronomiques (exportations en éléments minéraux, effets d'un retour trop fréquent dans les parcelles sur les adventices, maladies et ravageurs…) est à évaluer pour affirmer qu'il est bénéfique pour le système de culture, et le comparer par rapport aux autres couverts végétaux.

Comme les dérobées peuvent aider à diversifier la rotation culturale, il serait intéressant de comparer l'introduction de la dérobée avec l'introduction d'une culture supplémentaire à plus forte valeur ajoutée dans la rotation (un pois d'hiver dans une rotation « Colza – Blé tendre – Tournesol – Blé tendre » par exemple). Cependant les agriculteurs enquêtés ont déjà des rotations relativement longues. Cette comparaison ne présentait donc pas un grand intérêt pour eux dans le cas d'une diffusion des résultats de l'étude.

Le développement du sarrasin à l'avenir va dépendre de nombreux facteurs même si près de 60 % des agriculteurs enquêtés prévoient de réitérer cette pratique dans les prochaines années. L'utilisation courante du glyphosate avant l'implantation des couverts végétaux pourrait fortement limiter le développement des cultures dérobées en cas d'interdiction dans les prochaines années. La pérennité de la filière de sarrasin, en conventionnel, va aussi déterminer les surfaces qui seront implantées. L'évolution du débouché en alimentation humaine est à suivre. De plus la concurrence avec les pays étrangers, notamment la Chine, est à surveiller. Une diversification des cultures dérobées est donc nécessaire (lupin, orge, avoine, pois…). Par ailleurs l'évolution de la rentabilité des grandes cultures pourrait favoriser l'implantation de dérobées si elle est décroissante. Ensuite les opportunités d'implantation apportées par un climat favorable seront déterminantes. Il est aussi possible que le changement climatique offre de nouvelles possibilités de cultures.

L'étude climatique n'ayant été réalisée que sur l'ex région de Poitou-Charentes, des évaluations des conditions climatiques seraient nécessaires pour pouvoir préciser la faisabilité des dérobées dans d'autres régions.

Un projet CASDAR déposé par les Chambre Régionales d'Agriculture de Nouvelle-Aquitaine et d'Occitanie a pour objectif d'expérimenter les cultures candidates chez des agriculteurs et en station expérimentale. Cela permettra d'acquérir des connaissances sur leurs besoins physiologiques et sur leur phénologie. Il aussi pour but d'évaluer de façon multicritère leur intégration dans les systèmes de culture.

6 Conclusion

Les cultures dérobées 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 à l'évaluation de leur intérêt, économique, environnemental et agronomique.

À la suite de l'enquête menée auprès des agriculteurs, il a été décidé que cette étude porterait plus particulièrement sur le sarrasin. Cette culture semble à l'heure actuelle la plus adaptée à cette pratique en bénéficiant d'une filière, d'un débouché et en étant économe. Elle a un cycle court et des références au niveau national existent.

Les techniques utilisées pour le sarrasin sont très diversifiées et 7 cas-types ont été retenus pour les différencier. Ce sont l'utilisation d'herbicides et la technique d'implantation qui opposent le plus les expériences étudiées. Mais les rendements obtenus ne permettent pas à l'heure actuelle de les différencier économiquement. Cependant la réussite de la culture est conditionnée par les conditions climatiques. L'étude climatique réalisée a permis de déduire des fréquences de réussite potentielle du sarrasin par station climatique dans l'ex Poitou-Charentes. Elles sont en accord avec la pluviométrie répertoriée dans chacune. Il a été constaté que le rendement seuil de rentabilité pluriannuel était très supérieur au rendement seuil annuel (environ le double), et cette différence était d'autant plus grande que les fréquences de réussite étaient faibles. Ce rendement seuil fluctue aussi beaucoup en fonction du prix de vente, de l'origine des semences et de la prise en compte du coût d'une CIPAN.

Globalement d'un point de vue économique il ressort que les régions les plus favorables au sarrasin sont celles des stations de Lusignan, Niort et Saintes. Dans celles-ci le sarrasin est rentable sur le long terme même avec un prix de vente de l'ordre de 300 €/t. Avec des prix de vente plus élevés de l'ordre de 400 €/t, le sarrasin est donc une bonne solution pour compléter les marges des cultures principales. Elles sont à relativiser par rapport au temps de travail qui n'est pas très conséquent mais peut se situer en même temps que d'autres travaux ou des périodes de vacances.

Dans les régions de Thouars et Poitiers, la très faible fréquence de réussite et le plus faible potentiel de rendement dans ces régions montrent à l'inverse que cultiver du sarrasin risque fortement de ne pas être rentable de manière pluriannuelle. Il serait plus intéressant pour les agriculteurs dans ces régions d'implanter des couverts végétaux qui sont plus performants pour la réduction des charges sur les cultures principales (« engrais verts »). Le risque de ne pas récolter est trop grand par rapport aux gains escomptés.

Environnementalement, l'intérêt n'est pas négligeable mais est tout de même inférieur aux CIPAN. D'un point de vue agronomique les impacts du sarrasin sont mal connus mais semblent positifs sur la gestion des adventices et la remobilisation du phosphore inorganique.

Les agriculteurs utilisant cette pratique sont souvent déjà sensibilisés à la conservation des sols et à l'intérêt de l'utilisation des couverts végétaux. Ils ne sont donc pas représentatifs des pratiques majoritaires de la région. La faisabilité technique de l'implantation du sarrasin ne pourra donc pas être valable pour tous les agriculteurs de la région.

Les autres cultures nécessitent davantage de références techniques pour pouvoir être étudiées d'une manière similaire. Mais les résultats des expériences recueillies par exemple sur le millet, le soja, ou encore le pois de printemps sont encourageants pour approfondir les recherches. Pour rester concurrentiel vis-à-vis du marché mondial il semble intéressant de continuer l'acquisition de références sur l'opportunité de cultiver 3 cultures en 2 ans. L'évolution du climat et des marchés seront déterminants quant à la faisabilité de cette pratique.

Bibliographie

ANGUS, J.F., CUNNINGHAM, R.B., MONCUR, M.W. et MACKENZIE, D.H., 1980. Phasic development in field crops I. Thermal response in the seedling phase. In : *Field Crops Research*. janvier 1980. Vol. 3, p. 365-378. DOI 10.1016/0378-4290(80)90042-8.

ARNAUDEAU, M., et MINETTE, S., 2016. Projet Régional Systèmes de Culture Innovants (SDCI). Chambre Régionale d'Agriculture Aquitaine – Limousin – Poitou-Charentes, janvier 2016, 27 p.

BABŮRKOVÁ, M., JŮZA, J., MOUDRÝ, J. et PEJCHA, J., 2000. The effect of genotype and agronomical practices on the structure of yield factors of buckwheat. In : *Rostlinná Výroba*. 2000. Vol. 46, n° 5, p. 225-230.

BLANCO-CANQUI, Humberto, SHAVER, Tim M., LINDQUIST, John L., *et al*., 2015. Cover Crops and Ecosystem Services: Insights from Studies in Temperate Soils. In : *Agronomy Journal*. 2015. Vol. 107, n° 6, p. 2449. DOI 10.2134/agronj15.0086.

BRACCONNIER, R. et GLANDARD, J., 1952. *Nouveau Larousse Agricole*. Paris : Librairie Larousse.

BRISSON, Nadine et LEVRAULT, Frédéric, 2010. *Changement climatique, agriculture et forêt en France : simulations d'impacts sur les principales espèces. Le Livre Vert du projet CLIMATOR (2007-2010).* Angers : ADEME. ISBN 978-2-35838-128-4.

CALLEWAERT, Hélène, 2016. *Faisabilité technique et intérêt économique, agronomique et environnemental de cultiver 3 cultures graines en 2 ans*. Mémoire d'Ingénieur de fin d'études en Agriculture Parcours Agronomie et Territoire. Beauvais : Institut Polytechnique LaSalle Beauvais. 2016. 96p.

Chambre d'agriculture France APCA, 2017. Coût des Opérations Culturales 2017 des matériels agricoles (version septembre 2017)

FANG, Xiaomei, LI, Yingshuang, NIE, Jiao, *et al*., 2018. Effects of nitrogen fertilizer and planting density on the leaf photosynthetic characteristics, agronomic traits and grain yield in common buckwheat (Fagopyrum esculentum M.). In : *Field Crops Research*. 15 avril 2018. Vol. 219, p. 160-168. DOI 10.1016/j.fcr.2018.02.001.

FAVRE D'EVIRES, J.C., 1833. Mémoires de la Société Royale d'Agriculture, histoire naturelle et arts utiles de Lyon 1833-1834 [en ligne]. Lyon : Imprimerie de J.M. BARRET. [Consulté le 18/02/2016]. Disponible à l'adresse : https://books.google.fr/books?id=vMgAAAAAYAAJ&lpg=RA1-PA29&dq=histoire%20de%20la%20culture%20d%C3%A9rob%C3%A9e&hl=fr&pg=RA1-PA28#v=onepage&q&f=false

GURR, Geoff M., LU, Zhongxian, ZHENG, Xusong, *et al*., 2016. Multi-country evidence that crop diversification promotes ecological intensification of agriculture. In : *Nature Plants*. 22 février 2016. Vol. 2, n° 3, p. 16014. DOI 10.1038/nplants.2016.14.

ISBELL, Forest, ADLER, Paul R., EISENHAUER, Nico, *et al*., 2017. Benefits of increasing plant diversity in sustainable agroecosystems. In : BARDGETT, Richard (éd.), *Journal of Ecology*. juillet 2017. Vol. 105, n° 4, p. 871-879. DOI 10.1111/1365-2745.12789.

LAURENT, François, 2015. L'Agriculture de Conservation et sa diffusion en France et dans le monde. In : *Cybergeo* [en ligne]. 9 novembre 2015. [Consulté le 7 juin 2018]. DOI 10.4000/cybergeo.27284. Disponible à l'adresse : http://journals.openedition.org/cybergeo/27284.

MÉDIÈNE, Safia, VALANTIN-MORISON, Muriel, SARTHOU, Jean-Pierre, *et al*., 2011. Agroecosystem management and biotic interactions: a review. In : *Agronomy for Sustainable Development*. juillet 2011. Vol. 31, n° 3, p. 491-514. DOI 10.1007/s13593-011-0009-1.

MEYNARD, Jean-Marc, MESSÉAN, Antoine, CHARLIER, Aude, *et al*., 2013. Freins et leviers à la diversification des cultures : étude au niveau des exploitations agricoles et des filières. In : *OCL*. juillet 2013. Vol. 20, n° 4, p. D403. DOI 10.1051/ocl/2013007.

PIRES, Gabrielle F., ABRAHÃO, Gabriel M., BRUMATTI, Livia M., *et al*., 2016. Increased climate risk in Brazilian double cropping agriculture systems: Implications for land use in Northern Brazil. In : *Agricultural and Forest Meteorology*. novembre 2016. Vol. 228-229, p. 286-298. DOI 10.1016/j.agrformet.2016.07.005.

SCHULTE AUF'M ERLEY, Gunda, KAUL, Hans-Peter, KRUSE, Markus et AUFHAMMER, Walter, 2005. Yield and nitrogen utilization efficiency of the pseudocereals amaranth, quinoa, and buckwheat under differing nitrogen fertilization. In : *European Journal of Agronomy*. 1 janvier 2005. Vol. 22, n° 1, p. 95-100. DOI 10.1016/j.eja.2003.11.002.

SEIFERT, Christopher A et LOBELL, David B, 2015. Response of double cropping suitability to climate change in the United States. In : *Environmental Research Letters*. 1 février 2015. Vol. 10, n° 2, p. 024002. DOI 10.1088/1748-9326/10/2/024002.

SLAWINSKA, Jolanta et OBENDORF, Ralph L., 2001. Buckwheat seed set in planta and during in vitro inflorescence culture: Evaluation of temperature and water deficit stress. In : *Seed Science Research*. septembre 2001. Vol. 11, n° 3, p. 223-233. DOI 10.1079/SSR200178.

TITTONELL, Pablo, 2014. Ecological intensification of agriculture—sustainable by nature. In : *Current Opinion in Environmental Sustainability*. octobre 2014. Vol. 8, p. 53-61. DOI 10.1016/j.cosust.2014.08.006.

TEBOH, Jasper M. et FRANZEN, David W., 2011. Buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) Potential to Contribute Solubilized Soil Phosphorus to Subsequent Crops. In : *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. juillet 2011. Vol. 42, n° 13, p. 1544-1550. DOI 10.1080/00103624.2011.581724.

TOMICH, Thomas P., BRODT, Sonja, FERRIS, Howard, *et al*., 2011. Agroecology: A Review from a Global-Change Perspective. In : *Annual Review of Environment and Resources*. 21 novembre 2011. Vol. 36, n° 1, p. 193-222. DOI 10.1146/annurev-environ-012110-121302.

TRIBOUILLOIS, Hélène, DÜRR, Carolyne, DEMILLY, Didier, *et al*., 2016. Determination of Germination Response to Temperature and Water Potential for a Wide Range of Cover Crop Species and Related Functional Groups. In : FIDELIBUS, Matthew (éd.), *PLOS ONE*. 17 août 2016. Vol. 11, n° 8, p. e0161185. DOI 10.1371/journal.pone.0161185.

ZHANG, L., SPIERTZ, J. H. J., ZHANG, S., LI, B. et WERF, W. van der, 2008. Nitrogen economy in relay intercropping systems of wheat and cotton. In : *Plant and Soil*. 1 février 2008. Vol. 303, n° 1-2, p. 55-68. DOI 10.1007/s11104-007-9442-y.

ZHAO, Zhigan, QIN, Xin, WANG, Enli, *et al*., 2015. Modelling to increase the eco-efficiency of a wheat–maize double cropping system. In : *Agriculture, Ecosystems & Environment*. décembre 2015. Vol. 210, p. 36-46. DOI 10.1016/j.agee.2015.05.005.

ZHU, Y.-G., HE, Y.-Q., SMITH, S. E. et SMITH, F. A., 2002. Buckwheat (<Emphasis Type="Italic">Fagopyrum esculentum</Emphasis> Moench) has high capacity to take up phosphorus (P) from a calcium (Ca)-bound Source. In : *Plant and Soil*. 1 février 2002. Vol. 239, n° 1, p. 1-8. DOI 10.1023/A:1014958029905.

Sitographie

AGENCE BIO, 2017. Fiche Régionale et de Production Nouvelle-Aquitaine. In : *Agence BIO* [en ligne]. 2017. [Consulté le 20 avril 2018]. Disponible à l'adresse : http://www.agencebio.org/sites/default/files/upload/documents/4_Chiffres/BrochureCC/Regions/CC_fiche_ALPC.pdf.

AGRESTE, 2012. Exploitations agricoles et superficie agricole utilisée par orientation technico-économique [tableur]. In : *Agreste, la statistique agricole* [en ligne]. 7 mai 2012. [Consulté le 20 janvier 2018]. Disponible à l'adresse : http://agreste.agriculture.gouv.fr/recensement-agricole-2010/resultats-donnees-chiffrees/.

AGRESTE, 2015. Mémento de la statistique agricole. In : *Agreste, la statistique agricole* [en ligne]. 2015. [Consulté le 20 janvier 2018]. Disponible à l'adresse : http://agreste.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/R5415C01.pdf.

AGRESTE, 2017. Bilan conjoncturel 2017. In : *Agreste, la statistique agricole* [en ligne]. décembre 2017. [Consulté le 18 janvier 2018]. Disponible à l'adresse : http://agreste.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/conjbilan2017.pdf.

AGRESTE, 2017 (2). SAA semi-définitive 2016 productions Nouvelle-Aquitaine [tableur]. In : *DRAAF Nouvelle Aquitaine* [en ligne]. 22 septembre 2017. [Consulté le 25 janvier 2018]. Disponible à l'adresse : http://draaf.nouvelle-aquitaine.agriculture.gouv.fr/Chiffres-Cles.

AGRESTE, 2017 (3). Les résultats économiques des exploitations agricoles en 2016. In : *Agreste, la statistique agricole* [en ligne]. 14 décembre 2017. [Consulté le 5 février 2018]. Disponible à l'adresse : http://agreste.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/comptes2017ricabspca.pdf.

Anomalie de cumul des précipitations en Nouvelle-Aquitaine : écart entre la période considérée et la période de référence1978-2005 pour le scénario sans politique climatique(RCP8.5). *©Météo France, Service Driasles futurs du climat, Expérience : Météo-France/CNRM2014 : modèle Aladin de Météo-France)* In : *Driasles futurs du climat* [en ligne]. [Consulté le 10 mai 2018]. Disponible à l'adresse : http://www.drias-climat.fr/

ARVALIS INSTITUT DU VÉGÉTAL, 2017. Interculture : quelle est l'efficacité des couverts intermédiaires pièges à nitrate ? In : *ARVALIS-infos* [en ligne]. 14 septembre 2017. [Consulté le 25 mai 2018]. Disponible à l'adresse : https://www.arvalis-infos.fr/interculture-quelle-est-l-efficacite-des-couverts-intermediaires-pieges-a-nitrate-cipan--@/view-19186-arvarticle.html#2.

BONNY, Sylvie, 2010. L'intensification écologique de l'agriculture : voies et défis. In : EMILIE COUDEL, Bernard HUBERT, Hubert DEVAUTOUR, Christophe-Toussaint SOULARD (éd.), *ISDA 2010* [en ligne]. Montpellier, France : Cirad-Inra-SupAgro. juin 2010. p. 11 p. [Consulté le 11 mai 2018]. Disponible à l'adresse : https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00522107.

BOURNIGAL, Jean-Marc, HOULLIER, François, LECOUVEY, Philippe et PRINGUET, Pierre, 2015. 30 projets pour une agriculture compétitive & respectueuse de l'environnement. In : *Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation* [en ligne]. octobre 2015. [Consulté le 10 mai 2018]. Disponible à l'adresse : http://agriculture.gouv.fr/sites/minagri/files/rapport-agriculture-innovation2025.pdf.

BROCHIER, Myriam, SAVOURÉ, Marie-Laure, GUY, Pierre, *et al*., 2011. Bien choisir sa culture dérobée. In : *Agro-Transfert* [en ligne]. juin 2011. [Consulté le 5 mai 2018]. Disponible à l'adresse : http://www.agro-transfert-rt.org/wp-content/uploads/2016/02/OPTABIOM_Bien_choisir_ses_cultures_d%C3%A9rob%C3%A9es.pdf.

Carte de la répartition des grandes cultures en Nouvelle-Aquitaine, en ha de COP par km² de territoire. Agreste d'après l'Agence de services et de paiement (ASP) 2015. © IGN BdCarto et BdCarthage. In : *Agreste, la statistique agricole* [en ligne]. [Consulté le 19 janvier 2018]. Disponible à l'adresse : http://agreste.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/R7518A02.pdf

Carte de l'orientation technico-économique des communes du Poitou-Charentes. Agreste – Recensement agricole, 2010. © IGN Paris 2010. In : *Agreste, la statistique agricole* [en ligne]. [Consulté le 26 janvier 2018]. Disponible à l'adresse : http://agreste.agriculture.gouv.fr/en-region/poitou-charentes/.

Carte des zones vulnérables de Nouvelle-Aquitaine au 02 février 2017. DREAL NA, 2017. ©DREAL NA/MICAT. In : *DREAL Nouvelle-Aquitaine* [en ligne]. 20 février 2018. [Consulté le 20 avril 2018]. Disponible à l'adresse : http://www.nouvelle-aquitaine.developpementdurable.gouv.fr/IMG/pdf/doc_nitrates_2018_light.pdf

CENTRE TECHNIQUE INTERPROFESSINEL DES OLÉAGINEUX MÉTROPOLITAINS (CETIOM), 2012. Soja du semis à la récolte. In : *Terres Inovia* [en ligne]. 2012. [Consulté le 18 mai 2018]. Disponible à l'adresse : http://www.terresinovia.fr/fileadmin/cetiom/regions/Est/2012/RTR/61-RTR-Soja_Du_semis_a_la_recolte_ljg-mgt.pdf.

CETIOM, 2012. Soja du semis à la récolte. In : *Terres Inovia* [en ligne]. 2012. [Consulté le 18 mai 2018]. Disponible à l'adresse : http://www.terresinovia.fr/fileadmin/cetiom/regions/Est/2012/RTR/61-RTR-Soja_Du_semis_a_la_recolte_ljg-mgt.pdf.

CHA, S. W., CHA, Y. H., RHO, C. W., *et al*., (Chungbouk Provincial Rural Development Administration, 1989. Variation of yield related characters on different planting times in local buckwheat (Fagopyrum esculentum moench). In : *The Research Reports of The Rural Development Administration (Korea R.)* [en ligne]. 1989. [Consulté le 10 mai 2018]. Disponible à l'adresse : http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=KR8935693.

CHAMBRE D'AGRICULTURE BOURGOGNE, 2015. Sarrasin Polygonum esculentum. In : *Chambre d'Agriculture Yonne* [en ligne]. juillet 2015. [Consulté le 20 mai 2018]. Disponible à l'adresse : http://www.yonne.chambagri.fr/uploads/media/Sarrasin.pdf.

CHAMBRE D'AGRICULTURE CHAMPAGNE-ARDENNE, 2016. Agriculture Intégrée 2016-2017. In : *Chambre d'Agriculture Aube* [en ligne]. 2016. [Consulté le 22 mai 2018]. Disponible à l'adresse : http://www.aube.chambre-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/National/FAL_commun/publications/Grand-Est/10_Guide_Technique_agriculture_integree_-_internet.pdf.

CHAMBRES D'AGRICULURE FRANCE, 2014. NOS MISSIONS ET PRESTATIONS. In : *Chambre d'Agriculture FRANCE* [en ligne]. 2014. [Consulté le 10 mai 2018]. Disponible à l'adresse : http://chambres-agriculture.fr/chambres-dagriculture/nos-missions-et-prestations/.

CHAPMAN, I. C., 1952. Double Cropping Sorghum. In : *Progressive Agriculture in Arizona* [en ligne]. 1952. Vol. 4, n° 2, p. 9. [Consulté le 30 mai 2018]. Disponible à l'adresse : https://repository.arizona.edu/handle/10150/297988

CRA NA, 2017. Conjoncture agricole : des situations contrastées, des perspectives. In : *Chambre d'Agriculture Nouvelle-Aquitaine* [en ligne]. 23 novembre 2017. [Consulté le 15 janvier 2018]. Disponible à l'adresse : http://www.nouvelle-aquitaine.chambres-

agriculture.fr/fileadmin/user_upload/Nouvelle-Aquitaine/094_Inst-Nouvelle-Aquitaine/Documents/Economie/Session_CRANA_Conjoncture_20171123_def.pdf.

CRA NA, 2017 (2). Systèmes grandes cultures en territoire Poitou-Charentes. In : *Chambre d'Agriculture Nouvelle-Aquitaine* [en ligne]. juillet 2017. [Consulté le 20 mai 2018]. Disponible à l'adresse : http://www.nouvelle-aquitaine.chambres-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/National/FAL_commun/publications/Nouvelle-Aquitaine/CAS_TYPES_GRANDES_CULTURES_2014-17.pdf.

CRA POITOU-CHARENTES, 2014. Semis direct en Poitou-Charentes. In : [en ligne]. janvier 2014. [Consulté le 5 mai 2018]. Disponible à l'adresse : http://www.nouvelle-aquitaine.chambres-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/Nouvelle-Aquitaine/094_Inst-Nouvelle-Aquitaine/Documents/innovation/1._Synthese_Semis_direct_PC_2014-02-19.pdf.

Cumul des pluies d'avril à septembre de 1999 à 2016 par rapport à la normale 1981/2010 pour 4 stations climatiques de Poitou-Charentes : Cognac, La Rochelle, Niort, Poitiers, ©ORE Poitou-Charentes d'après données Météo France, 2017. In : *L'eau en Poitou-Charentes* [en ligne]. [Consulté le 25 avril 2018]. Disponible à l'adresse : http://www.eau-poitou-charentes.org/La-pluviometrie,3599.html#prettyPhoto

DRAAF NOUVELLE-AQUITAINE, 2018. Filière céréales oléoprotéagineux. In : *Agreste, la statistique agricole* [en ligne]. janvier 2018. [Consulté le 10 février 2018]. Disponible à l'adresse : http://agreste.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/R7518A02.pdf.

DREAL NOUVELLE-AQUITAINE, 2018. Le programme d'actions « nitrates » dans les zones vulnérables de Nouvelle-Aquitaine. In : *DREAL Nouvelle-Aquitaine* [en ligne]. 20 février 2018. [Consulté le 25 avril 2017]. Disponible à l'adresse : http://www.nouvelle-aquitaine.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/doc_nitrates_2018_light.pdf.

EDWARDSON, Steven E., 1995. Using Growing Degree Days to Estimate Optimum Windrowing Time in Buckwheat. In : *Current Advances in Buckwheat Research* [en ligne]. Shinshu : Shinshu University Press. p. 509-514. [Consulté le 10 mai 2018]. Disponible à l'adresse : http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.484.9212&rep=rep1&type=pdf.

Évolution du prix de vente, en €/q, des céréales et oléo-protéagineux entre 1997 et 2016. Agreste Bulletin mensuel : cotations mensuelles. In : *Agreste, la statistique agricole* [en ligne]. janvier 2018. [Consulté le 26 avril 2018]. Disponible à l'adresse : http://agreste.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/R7518A02.pdf

Évolution du RCAI par Utans par orientation productive, en millier d'€. Agreste, 2016. In : *Agreste, la statistique agricole* [en ligne]. 14 décembre 2017. [Consulté le 5 février 2018]. Disponible à l'adresse : http://agreste.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/comptes2017ricabspca.pdf.

FAO, 2018. Conservation Agriculture. In : *Food and Agriculture Organization of the United Nations* [en ligne]. 2018. [Consulté le 20 mai 2018]. Disponible à l'adresse : http://www.fao.org/conservation-agriculture/en/.

FRANCEAGRIMER, 2018. Rapports Céré'Obs : Nouvelle-Aquitaine - Poitou-Charentes. In : *Céré'Obs FranceAgriMer* [en ligne]. 31 mai 2018. [Consulté le 7 juin 2018]. Disponible à l'adresse : https://cereobs.franceagrimer.fr/Pages/publications.aspx?region=Nouvelle-Aquitaine%20-%20Poitou-Charentes.

JOUZEL, Jean, OUZEAU, G., JOUINI, M., PLANTON, S. et VAUTARD, R., 2014. Le climat de la France au XXI e siècle. In : *Ministère de la Transition écologique et solidaire* [en ligne]. août 2014. [Consulté le 15 mai 2018]. Disponible à l'adresse : https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/ONERC_Climat_France_XXI_Volume_4_VF.pdf.

MINETTE, Sébastien, 2011. Caractéristiques des principales cultures intermédiaires. In : *Chambre d'Agriculture Nouvelle-Aquitaine* [en ligne]. juillet 2011. [Consulté le 10 mai 2018]. Disponible à l'adresse : http://www.nouvelle-aquitaine.chambres-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/Nouvelle-Aquitaine/094_Inst-Nouvelle-Aquitaine/Documents/innovation/3._Liste_cultures_intermediaires_2011.pdf.

MORAND, N., CHABALIER, C., TENDILLE, R., *et al*., 2013. Guide cultures dérobées fourragères. In : *Association Française pour la Production Fourragère* [en ligne]. janvier 2013. [Consulté le 10 mai 2018]. Disponible à l'adresse : http://www.afpf-asso.fr/files/Dossiers_thematiques/Fiche_synth_derobees_-_Auvergne_A3.pdf.

Moyenne annuelle de référence 1981-2010 des précipitations Poitou-Charentes. ©Météo France. In : *L'eau en Poitou-Charentes* [en ligne]. [Consulté le 25 avril 2018]. Disponible à l'adresse : http://www.eau-poitou-charentes.org/La-pluviometrie,3599.html#prettyPhoto

MYERS, Robert L. et MEINKE, Louis J., 1994. Buckwheat: A Multi-Purpose, Short-Season Alternative. In : *MOspace Institutional Repository* [en ligne]. avril 1994. [Consulté le 23 mai 2018]. Disponible à l'adresse : https://mospace.umsystem.edu/xmlui/bitstream/handle/10355/8172/BuckwheatMultiPurposeAlternative.pdf?sequence=1&isAllowed=y

OBSERVATOIRE RÉGIONAL SUR L'AGRICULTURE ET LE CHANGEMENT CLIMATIQUE POITOU-CHARENTES (ORACLE), 2013. État des lieux sur le changement climatique et ses incidences agricoles en région Poitou-Charentes. In : *Académie de Poitiers* [en ligne]. 2013. [Consulté le 15 mai 2018]. Disponible à l'adresse : http://ww2.ac-poitiers.fr/svt/IMG/pdf/oracle_pc_-_edition_2013.pdf.

Pédopaysages de Poitou-Charentes. ©IGN - BD Carthage - IGCS Poitou-Charentes : CRA, IAAT, INRA. In : *Sigena* [en ligne]. [Consulté le 20 mars 2018]. Disponible à l'adresse : http://www.sigena.fr/upload/gedit/51/images/stories/carte_sols_draaf.jpg

PIONEER, 2008. Alterna® Voyons plus loin. In : *France Pioneer* [en ligne]. juin 2008. [Consulté le 15 avril 2018]. Disponible à l'adresse : http://www.france.pioneer.com/Portals/0/Communiques/CP_Pioneer_Alterna_2008.pdf.

RÉSEAU PARTENARIAL DES DONNÉES SUR L'EAU (RPDE), 2008. L'eau et ses usages en Poitou-Charentes. In : *L'Eau en Poitou-Charentes* [en ligne]. 2008. [Consulté le 20 mai 2018]. Disponible à l'adresse : http://usages.eau-poitou-charentes.org/Presentation.html.

SCHNITKEY, Gary, 2018. Revenue and Costs for Corn, Soybeans, Wheat, and Double-Crop Soybeans, Actual for 2011 through 2016, Projected 2017 and 2018. In : *farmdoc UNIVERSITY OF ILLINOIS* [en ligne]. février 2018. [Consulté le 28 mai 2018]. Disponible à l'adresse : http://www.farmdoc.illinois.edu/manage/actual_projected_costs.pdf.

SEM-PARTNERS, [sans date]. Dossier Soja. In : *Sem-Partners* [en ligne]. [Consulté le 10 mai 2018]. Disponible à l'adresse : http://www.sem-partners.com/doc/soja.pdf.

Annexe I : Support de l'enquête des agriculteurs

1. L'exploitation Agricole		
Mail :		
SAU :	**UTH** :	**Production animale** :
Données climatiques relevées (pluie) ?		
Assolement 2017-2018 : sans les surfaces		
Conduite des cultures : **Utilisation des intrants (Raisonnée, intégrée, AB), Travail du sol (labour, SD…)**		
Rotations types (toutes rotations, pas uniquement avec dérobée) :		
Intercultures :		

Cultures dérobées :	**Surface :**	**Précédent(s) :**	**Suivant(s) :**	**Année(s) :**

2. ITK Dérobée …… Année

Parcelle :	Surface :	Pourquoi ?		
Type de sol : (% cailloux en surface, % MO, RU) Avantages / Incovénients				
Précédent :	Date de récolte :	Restitution des résidus :	Rendement :	
Fertilisation azotée : U/ha		Irrigation : dates		
Dérobée :				
Semis :	Date :	Pourquoi?	Variété :	
	Densité et écartement inter-rang :			
	Profondeur de semis :			
	Préparation du sol :			
	Conditions : humidité pré et post semis			
	Matériel utilisé :			
	Durée avant la levée, % levée :			
	Conditions de réussite :			
Date des stades :	levée	floraison	formation des grains	
Interventions :	Date :	Produit/dose et matériel utilisé :	Objectif visé / Efficacité :	coût :
Récolte :	Date :	Rendement :	Méthode de récolte : fauchage	
	Conditions : sécherresse, gel, humidité grains, verse…			
	Frais de séchage :			
	Fréquence de récolte ? Années d'échec			
Avis sur le déroulement de la culture : sécheresse, maladies, adventices, ravageurs…				
Qu'aurait-il fallu faire ?				

3. Déterminants de la production de……

Quel objectif au départ pour faire cette culture ?

Objectif atteint ? agronomique ou économique

Pourquoi cette position dans la rotation ? Quel intérêt ?

Quel effet sur la culture suivante ?

Est-ce une charge de travail importante ?

Quel approvisionnement en semences ? Coûts ?

Valorisation (débouchés) des produits : à quel prix ? Acheteur, contrat ?

Avantages de cette culture ?	**Inconvénients** :

Sources – références de conseil :

3. Perspectives

Qu'est-ce qui limite la surface en dérobé sur l'exploitation ?

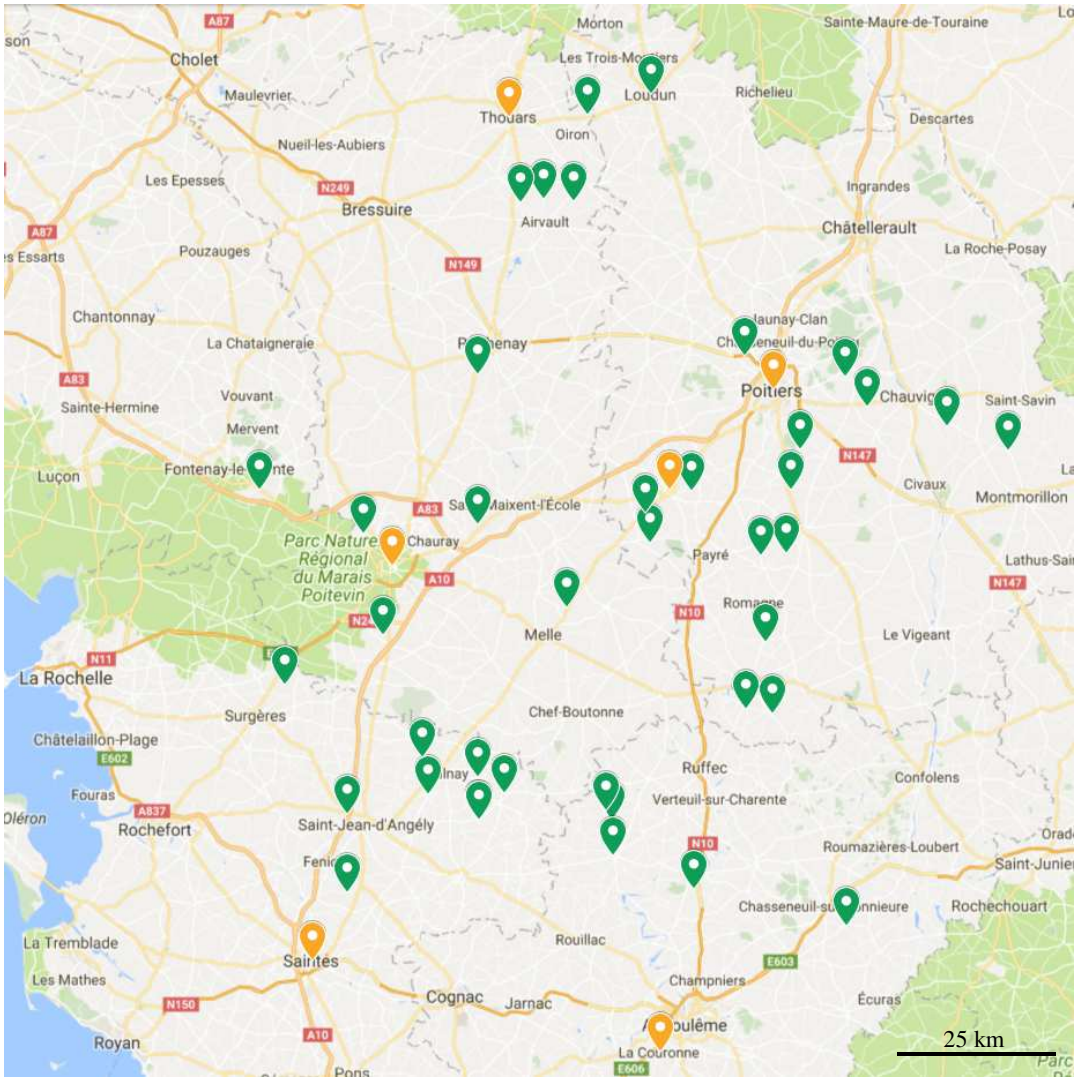
Avenir de cette culture sur la ferme ? Freins / Motivations ?

D'autres essais déjà faits ou prévus ?

Idées / Suggestions ? de cultures ou de techniques culturales

Connaissez-vous d'autres agriculteurs qui font des cultures dérobées ?

Annexe II : Carte de localisation des exploitations agricoles enquêtées (en vert) et des 6 stations climatiques utilisées pour l'étude climatique (en jaune)



Source : d'après My Maps, données cartographiques ©2018 Google

Annexe III : Valeurs utilisées pour le calcul des charges opérationnelles et de mécanisation

Coût semences de sarrasin :

- Certifiées : 2 €/kg (enquêtes)
- Ferme : 0,45 €/kg : cf. Tableau ci-dessous

Exemple de calcul du coût des semences de ferme : (Source : CRA NA) rendement sarrasin 10q/ha		
Manque à gagner par la culture d'un blé tendre qui est remplacé par le sarrasin	-200	€/ha
Implantation Sarrasin	-30	€/ha
Semences certifiées, 40 kg/ha	-80	€/ha
Traitement (Fusilade Max® 1L/ha + Mécanisation)	-28-8	€/ha
Récolte	-81	€/ha
Frais de séchage	-20	€/t
Total	-450	€/ha
Prix pour 10 q/ha	0,45	€/kg

Coût Irrigation :

- 0,85 €/mm : ne prend pas en compte le coût d'amortissement du matériel et du forage (Source : CRA NA)

Coût produits phytosanitaires :

- Fusilade Max ® : 28 €/L (dose homologuée 1,5 L/ha) (Source : CRA NA)

Coût fertilisation :

- Ammonitrate 33,5 % : 0,8 €/kg N (Source : CRA NA)

Coût Mécanisation et débit de chantier : tableau ci-dessous

Mécanisation et débit de chantier (Source : Chambres d'Agriculture France APCA, 2017)		
Matériel	Coût €/ha Avec traction	h/ha
Déchaumeur disques indépendants 3 à 6 m	22	0,2
Déchaumeur dents 3 à 6 m	22	0,4
Semoir combiné herse rotative 3 à 4 m	43	0,6
Semoir SD à disques	34	0,4
Semoir SD à dents	26	0,4
Pulvérisateur trainé 2500 à 4000 l	8	0,1
Épandeur à engrais bidisques, cuve 12 à 25 hl, 12 à 36 m	4	0,1
Moissonneuse-batteuse conventionnelle	88	0,6
Moissonneuse-batteuse non conventionnelle	73	0,3

Annexe IV : Démarche du calcul du Reliquat Début Drainage

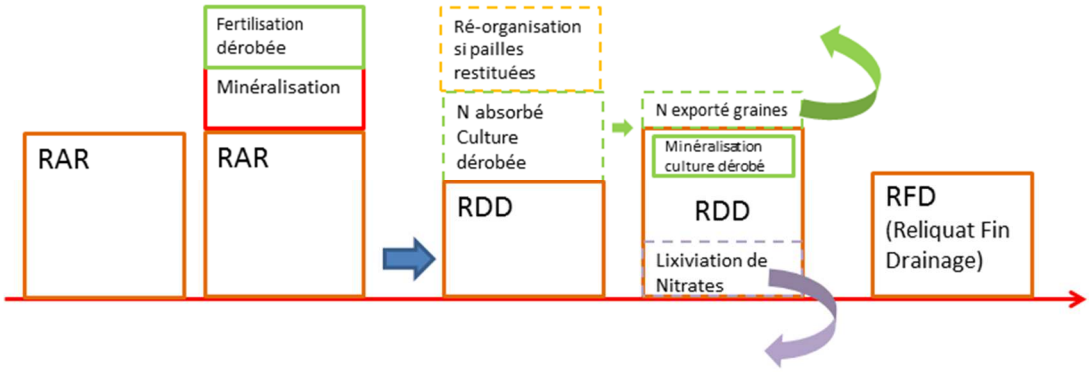


Figure : Évolution du Reliquat Azoté de la Récolte (RAR) jusqu'à la fin du drainage (RFD) (*Callewaert, 2016*)

Tableau : Calcul du Reliquat Début Drainage (RDD) (*Source : Callewaert, 2016*)

	Minéralisation journalière du sol	Kg N/ha/jour
x	Nombre de jour (Récolte-Semis)	Jours
+	Quantité d'azote à la fermeture du bilan (Base)	Kg N/ha
+	Bilan EQUIF* culture précédente	Kg N/ha
+	Effet résidus culture précédente	Kg N/ha
+	Fertilisation azotée de la dérobée	Kg N/ha
-	Azote mobilisé par la dérobée	Kg N/ha
=	**Reliquat Début Drainage**	**Kg N/ha**

$$EQUIF = Fournitures\ du\ sol + \underbrace{Engrais\ valorisé}_{CAU \times Apport\ N} - \underbrace{Besoins\ réels}_{b \times Rendement}$$

avec CAU = Coefficient Apparent d'Utilisation de l'engrais
b = coefficient des besoins en azote des cultures (unités N/qx)

Figure : Calcul du bilan EQUIF *(Source : Arnaudeau, Minette, 2016)*

Annexe V : Liste des cultures ayant bénéficié d'une recherche bibliographique sur les besoins en somme de degrés jours et sur les besoins en eau

		Informations trouvées (plus ou moins précises)	
Culture	**Nom scientifique**	Exigences en températures, en somme de degrés jours	Besoins en eau (en mm)
Alpiste	*Phalaris canariensis*	Oui	Non
Avoine de printemps	*Avena sativa*	Oui	Non
Cameline	*Camelina sativa*	Oui	Oui
Carthame	*Carthamus tinctorius*	Non	Non
Chanvre	*Cannabis sativa*	Non	Oui
Épeautre de printemps	*Triticum spelta*	Non	Non
Lentille	*Lens culinaris*	Oui	Non
Lin	*Linum usitatissimum*	Non	Non
Millet	*Panicum miliaceum*	Oui	Oui
Moutarde brune	*Brassica juncea*	Non	Non
Nyger	*Guizotia abyssinica*	Non	Non
Orge de printemps	*Hordeum vulgare*	Oui	Oui
Phacélie	*Phacelia tanacetifolia*	Non	Non
Pois de printemps	*Pisum sativum*	Oui	Oui
Quinoa	*Chenopodium quinoa*	Non	Non
Sarrasin	*Fagopyrum esculentum*	Oui	Non
Seigle de printemps	*Secale cereale*	Non	Non
Soja	*Glycine max*	Oui	Oui
Tournesol	*Helianthus annuus*	Oui	Oui

AGRO CAMPUS OUEST UNIVERSITÉ DE RENNES 1	Diplôme : Master 2 Sciences, Technologie et Santé Mention Biologie, Agrosciences Spécialité : Amélioration, Production et Valorisation du Végétal Spécialisation / option : Fonctionnement et Gestion des Agrosystèmes Enseignant référent : Olivier GODINOT
Auteur(s) : Nicolas FERRAND Date de naissance* : 09/09/1994 Nb pages : 25 Annexe(s) : 6 Année de soutenance : 2018	Organisme d'accueil : Chambre Régionale d'Agriculture de Nouvelle-Aquitaine Adresse : INRA les Verrines, BP6, 86600 Lusignan Maître de stage : Sébastien MINETTE

Titre français : Étude prospective de la faisabilité technique et de l'intérêt économique, agronomique et environnemental de cultiver trois cultures en deux ans dans le contexte pédoclimatique de Nouvelle-Aquitaine

Titre anglais : Prospective study of the technical feasibility and the economic, agronomic and environmental interest of cultivating three crops in two years in the pedoclimatic context of Nouvelle-Aquitaine

Résumé : Le contexte agricole actuel nécessite un compromis entre compétitivité et durabilité. Certains agriculteurs profitent des intercultures pour implanter une culture destinée à la vente en graines, appelée dérobée. La Chambre d'Agriculture de Nouvelle-Aquitaine souhaitait évaluer la faisabilité de cette pratique et juger de ses intérêts économiques, environnementaux et agronomiques. L'enquête réalisée auprès des agriculteurs implantant des dérobées a permis de s'intéresser plus particulièrement au sarrasin. Des cas-types d'itinéraires techniques ont été construits pour représenter les techniques majoritaires. Les informations recueillies et la bibliographie ont permis de mettre en avant les facteurs limitants des rendements. Une étude climatique a permis d'évaluer le rendement seuil de rentabilité du sarrasin de façon pluriannuelle. Il a été remarqué que ce rendement dépendait beaucoup du prix de vente, du coût des semences, et de la station climatique. Ainsi pour plusieurs stations climatiques le sarrasin est rentable sur le long terme. En revanche pour d'autres le risque de ne pas récolter est trop grand et il serait plus intéressant pour les agriculteurs d'implanter des cultures intermédiaires piège à nitrates. L'intérêt environnemental du sarrasin semble d'ailleurs inférieur à celui de celles-ci. Agronomiquement il présente certains intérêts sur les adventices et la remobilisation du phosphore inorganique. L'évolution de cette pratique va dépendre de nombreux facteurs, dont l'évolution du climat, et les recherches sont à approfondir sur d'autres cultures.

Abstract: The current agricultural context requires compromise between competitiveness and sustainability. Some farmers take advantage of intercropping to grow a covercrop which can be harvested. The Chamber of Agriculture of New Aquitaine wanted to assess the feasibility of this practice and evaluate its economic, environmental and agronomic interests. A survey was run among farmers who practice intercropping and focused on buckwheat. Typical cases of technical itineraries have been constructed to describe the main techniques. Information gathered and bibliography have made it possible to highlight intercrop yield limiting factors. A climatic study has assessed the break-even yield of buckwheat on a multi-year basis. It was noticed that this yield depended very much on the selling price, the cost of the seeds, and the climatic station. For many climatic stations, buckwheat is profitable in the long term. On the other hand, for others the risk of not harvesting is too great and it would be more interesting for farmers to grow green manure. The environmental interest of buckwheat appears to be lower than that of the latter. Buckwheat has some interests in weeds control and the remobilization of inorganic phosphorus. The evolution of this practice will depend on many factors including climate change, and further research is needed on other crops.

Mots-clés : dérobée graine, sarrasin, climat, rendement seuil, rentabilité

Key Words: harvested intermediate crop, buckwheat, climate, minimum economic yield, rentability