



HAL
open science

Caractérisation des systèmes de culture en maïs popcorn et évaluation de leur efficacité de gestion des communautés adventices et du datura (*D. stramonium*) dans un réseau d'agriculteurs du Sud-Ouest de la France

Valentin Deremetz

► To cite this version:

Valentin Deremetz. Caractérisation des systèmes de culture en maïs popcorn et évaluation de leur efficacité de gestion des communautés adventices et du datura (*D. stramonium*) dans un réseau d'agriculteurs du Sud-Ouest de la France. Sciences du Vivant [q-bio]. 2020. dumas-03039751

HAL Id: dumas-03039751

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03039751>

Submitted on 4 Dec 2020

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

<p>Année universitaire : 2019-2020</p> <p>Spécialité : Ingénieur Agronome</p> <p>Spécialisation (et option éventuelle) : Sciences et Ingénierie du Végétal Agrosystème : conception & évaluation</p>	<p>Mémoire de fin d'études</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> d'ingénieur de l'École nationale supérieure des sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage (AGROCAMPUS OUEST), école interne de l'institut national d'enseignement supérieur pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement</p> <p><input type="checkbox"/> de master de l'École nationale supérieure des sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage (AGROCAMPUS OUEST), école interne de l'institut national d'enseignement supérieur pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement</p> <p><input type="checkbox"/> d'un autre établissement (étudiant arrivé en M2)</p>
--	---

Caractérisation des systèmes de culture en maïs popcorn et évaluation de leur efficacité de gestion des communautés adventices et du datura (*D. stramonium*) dans un réseau d'agriculteurs du Sud-Ouest de la France

Par : Valentin DEREMETZ



Soutenu à Rennes

le 16/09/2020

Devant le jury composé de :

Président : M Carof

Autres membres du jury (Nom, Qualité)

Maître de stage : M. Giuliano

M. Dupont, Rapporteur

Enseignant référent : Mme Le Cadre

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>



Remerciements

Mes premiers remerciements sont destinés à Simon Giuliano, mon maître de stage. Il m'a donné l'opportunité de réaliser mon stage de fin d'étude dans le monde passionnant de la recherche agronomique et plus particulièrement de celui des adventices. Je le remercie également pour sa bienveillance, sa patience, sa disponibilité et l'ensemble des conseils donnés et connaissances transmises pendant mon stage. Son accompagnement, proche de la perfection, m'a permis de mener à bien ce stage dans de bonnes conditions même dans un contexte défavorable et historique. « La première qualité d'un ingénieur est sa capacité d'adaptation ». Cette phrase, dite le premier jour de mon stage par Simon sur les qualités d'un ingénieur, a marqué mon stage où nous avons su garder le cap malgré la crise de la Covid-19, le confinement et la reprise progressive pendant laquelle les agriculteurs et les maïs ne nous ont pas attendu. Grâce à lui, j'ai pu conforter mes connaissances et compétences acquises pendant mon cursus scolaire, d'en acquérir d'autres et de la rigueur supplémentaire qui me seront utiles dans ma future carrière. A chaque retour sur mon travail et notamment de ce mémoire, il m'a toujours encouragé vers la perfection en cherchant à m'améliorer sur chaque composante du métier d'ingénieur de recherche.

Ensuite, je tiens à remercier François Perdrioux, Technicien en charge des expérimentations sur le Domaine de Lamothe, pour ses conseils et avis qu'il m'a donnés tout au long de mon stage de la conception du protocole jusqu'à la prise des mesures. Il m'a transmis des compétences précieuses sur la conduite d'essais sur le terrain qui me permettront d'être plus rigoureux et organisé où j'ai pu mesurer mes limites. Ces compétences me seront importantes dans ma future carrière. J'ai beaucoup appris en sa présence. Je tiens également à le remercier pour l'aide qu'il m'a apportée lors des prélèvements sur le terrain ainsi que Simon Giuliano, Pierre Larsonneau, Ingénieur expérimentation du domaine de Lamothe, et Boris Glaessner en stage au Domaine de Lamothe. Sans eux les prélèvements sur le terrain auraient été impossibles. Je tiens également à les remercier pour la bonne ambiance lors de ces journées terrains.

Je tiens également à remercier toutes les personnes que j'ai pu côtoyer sur le domaine de Lamothe pour leur accueil et les moments que j'ai pu passer avec eux.

Je remercie Anne-Marie Joliet, Guilhem Costedoat et Pierre Grousset de l'entreprise Nataïs pour le partage d'informations concernant le réseau d'agriculteurs et également de m'avoir convié à la journée des producteurs de Nataïs. J'ai pu découvrir la culture du maïs popcorn, sa filière, l'entreprise Nataïs ainsi que leurs attentes et leurs contraintes. Je tiens à remercier également les 16 agriculteurs du réseau suivis pendant mon stage pour leur accueil et leur disponibilité. Ils m'ont consacré du temps lors des enquêtes et du premier prélèvement pour mener à bien mon stage. Je tiens également à les remercier pour les discussions pendant les enquêtes et plus ponctuellement lors des journées de prélèvements. Ces discussions ont été très enrichissantes me permettant de découvrir l'agriculture dans une autre région, à 1000 km au sud de mes repères, et leurs contraintes et attentes. Ce stage est ma première expérience dans le monde de la recherche au contact des agriculteurs et d'une entreprise de transformation. Je veillerai à ce que ma future carrière continue dans ce sens

Je tiens à remercier notamment Christel Moder qui a été mon interlocutrice administrative à l'UMR AGIR. Je remercie également Mme Le Cadre, mon enseignante référente, pour ses conseils et son accompagnement pendant mon stage, M. Carof, responsable de ma spécialisation, pour son accompagnement et ses conseils dans mon parcours de recherche de stage ainsi que les personnes consultées à l'Institut Agro pour les démarches administratives.

Enfin, je tiens à remercier ma famille pour son soutien et notamment ma Maman pour la relecture de ce rapport et pour m'avoir accompagnée avec patience dans ma scolarité.

Liste des figures

Figure 1 : Caractéristiques de <i>Datura stramonium</i> (Infloweb, 2020).	2
Figure 2 : Effet des filtres agricoles et environnementaux (Fried et al., 2008a).....	2
Figure 3 : Processus simplifiés de constitution de la communauté adventice dans les parcelles agricoles (d'après Booth et Swanton, 2002 ; Fried et Maillat, 2018).	3
Figure 4 : Synthèse des pistes d'améliorations de la gestion des adventices dans les SDC en ACS (d'après Bajwa, 2014).	3
Figure 5 : Impact de différentes rotations sur la couverture du <i>D. Stramonium</i> (Teasdale et al., 2019).....	3
Figure 6 : Impact du mode d'apport d'engrais sur la réduction de la biomasse de <i>S. italica</i> en culture de maïs (Anderson, 2000).....	5
Figure 7 : Carte des agriculteurs du réseau du projet Naturellement Popcorn.....	5
Figure 8 : Formule de la Profondeur Cumulée Pondérée (PCP).....	10
Figure 9 : Formule utilisée pour calculer l'IFT herbicide, l'indice de diversité de Shannon et d'équitabilité de Piélou.....	11
Figure 10 : Plan expérimental utilisé pour le suivi.....	11
Figure 11 : Classification Hiérarchique des SDC Popcorn sur Composantes Principales de l'AFDM réalisée à partir des données d'enquêtes des agriculteurs du réseau.....	12
Figure 12 : Descriptions graphiques des classes de la classification sur les données d'enquêtes servant à construire le modèle expertisé.....	12
Figure 13 : Classification des SDC Popcorn obtenue à partir du modèle expertisé.....	15
Figure 14 : Classification des agriculteurs selon leur contexte pédoclimatique.....	15
Figure 15 : Boxplots des densités totales par classes du modèle expertisé (a) et par agriculteurs (b).....	15
Figure 16 : ACP des compositions des communautés adventices observées dans chaque parcelle.....	15
Figure 17 : Boxplots décrivant les biomasses aériennes sèches du maïs popcorn selon la classe de SDC Popcorn (a.) et l'agriculteur (b.).....	15
Figure 18 : ACP des compositions des communautés adventices observées dans chaque parcelle à la floraison des maïs popcorn.....	16
Figure 19 : Classification des agriculteurs selon la composition de la communauté observée dans leur parcelle.....	16
Figure 20 : Courbes aires-espèces des parcelles les plus représentatives de chaque classe de SDC Popcorn et celle en ACS.....	18
Figure 21 : Cadre de reconception des SDC Popcorn selon la présence ou l'absence de population établie.....	21

Listes des Tableaux

Tableau 1 : Description d'une partie des variables utilisées pour caractériser les exploitations, les agriculteurs et leur SDC Popcorn.....	9
Tableau 2 : Descriptions des classes utilisées dans la méthode « Barralis » adapté du protocole du projet CASIMIR (projet CASIMIR, sd).....	10
Tableau 3 : Leviers de gestion des adventices pris en compte dans la variable "Diversité de leviers".	10
Tableau 4 : Descriptions des trois premières dimensions de l'AFDM utilisée dans la conception de la typologie des SDC popcorn du réseau.....	11
Tableau 5 : Caractéristiques des 3 contextes pédologiques	15

Liste des abréviations

AB : Agriculture Biologique
ACP : Analyse en Composantes Principales
ACS : Agriculture de Conservation des Sols
AFDM : Analyse Factorielle de Données Mixtes
CEC : Capacités d'Echanges Cationiques
CI : Culture Intermédiaire
C/N : Carbone sur Azote
HCPC : Classification Hiérarchique sur Composantes Principale
ITK : Itinéraire Technique
PCP : Profondeur Cumulée Croissante
SD : Semis direct
SDC : Système de culture
TCSL : Techniques Culturelles Sans Labour

Sommaire

Liste des figures.....	1
Listes des Tableaux.....	1
Liste des abréviations.....	1
I. Introduction	1
1. Contexte d'étude : des enjeux agricoles actuels et futurs jusqu'à la gestion du datura.....	1
2. Impacts des systèmes de cultures sur les communautés adventices et <i>D. stramonium</i>	2
2.1. Théories et concepts autour des communautés adventices.....	2
2.2. Vers une modification des filtres par la transition écologiquement intensive	2
2.3. Impacts des composantes du SDC sur les communautés adventices et <i>D. stramonium</i> ..	3
3. Intérêts et objectifs de l'étude	8
II. Matériels et méthodes.....	8
1. Description du réseau d'agriculteurs.....	8
2. Typologie des systèmes de culture des agriculteurs du réseau	8
2.1. Entretiens semi-directifs sur les systèmes de culture des agriculteurs du réseau	8
2.2. Description des variables utilisées pour décrire l'exploitation en vue de la typologie.....	9
2.3. Description des variables utilisées pour décrire le SDC Popcorn	9
2.4. Stratégie de conception de la typologie.....	9
3. Description du protocole et des variables mesurées et calculées	10
3.1. Plan d'échantillonnage	10
3.2. Suivis des communautés adventices, du maïs popcorn et du sol	10
3.3. Analyse de sol	11
4. Analyse des données	11
4.1. Typologie des SDC Popcorn étudiés	11
4.2. Suivis des communautés adventices, du maïs popcorn et du sol	11
III. Résultats.....	12
1. Typologie des agriculteurs et de leur SDC Popcorn.....	12
1.1. Descriptions des dimensions principales de l'AFDM.....	12
1.2. Classification hiérarchique des SDC Popcorn.	13
1.3. Le modèle expertisé de caractérisation des SDC Popcorn.	14

2. Classification des agriculteurs selon leur contexte pédologique	14
3. Suivi des communautés adventices aux stades 8-12 feuilles du maïs popcorn	15
3.1. Abondances des communautés	15
3.2. Composition et diversité des communautés adventices	15
4. Suivi du maïs popcorn et des communautés adventices au stade floraison.....	16
4.1. Performances du maïs popcorn et abondances des communautés adventices.....	16
4.2. Composition et diversité des communautés adventices	16
4.3. Présence, abondance et fréquence d'observation de <i>D. stramonium</i> et de <i>S. nigrum</i> ..	17
IV. Discussions.....	18
1. Relations entre le contexte pédologique, le SDC et les adventices.....	18
2. Evaluation à posteriori de la qualité du modèle expertisé.....	18
3. Pertinence du protocole de suivi des communautés adventices et du <i>D. stramonium</i>	19
4. Efficacité de gestion des communautés adventices et de <i>D. stramonium</i> par les SDC suivis	20
5. Conclusion.....	21
Bibliographie	22
Annexe 1 : Arbre de décision construit à partir du modèle de typologie expertisé.	1
Annexe 2 : Description du modèle statistique	2
Annexe 3 : Tableau présentant l'ensemble des variables déduites à partir des entretiens auprès des agriculteurs	6
Annexe 4 : Tableau regroupant les noms scientifiques des espèces adventices observés ainsi que leur code EPPO et leur traits écologiques utilisés dans l'analyse (R = repousse, D = Dicotylédone et M = Monocotylédone).....	8

I. Introduction

1. Contexte d'étude : des enjeux agricoles actuels et futurs jusqu'à la gestion du datura

Le paradigme agricole actuel, basé sur un fort recours au travail du sol et aux intrants, n'est pas adéquat pour répondre aux besoins alimentaires d'une population grandissante à cause de son impact négatif sur la biodiversité, le climat et la qualité de l'eau, de l'air et des sols (Hunter et al., 2017; Nemecek et al., 2011). Un changement de paradigme est en cours à travers l'agroécologie notamment et devra être renforcé pour tendre vers l'intensification écologique (Hunter et al., 2017). Ce concept est basé sur l'utilisation intensive des fonctionnalités des écosystèmes afin de produire de la nourriture, des fibres, de l'énergie et des services écologiques de manière durable (Tyttonell, 2014). L'intensification écologique est identifiée dans la littérature comme un paradigme prometteur à développer afin d'assurer la sécurité alimentaire d'une population grandissante tout en protégeant et régénérant l'environnement, en s'adaptant au changement climatique et en atténuant son intensité et ses impacts (Hunter et al., 2017; Tyttonell, 2014).

Dans ce but, les systèmes agricoles doivent être repensés tout en prenant en compte l'ensemble des objectifs et attentes des acteurs soumis à ces enjeux, à la réglementation et aux attentes sociétales. Actuellement, au niveau français, la réglementation (e.g. plan Ecophyto II+, directive nitrate (91/676/CEE)) et les attentes sociales portent sur la production de denrées de qualité à un prix abordable tout en protégeant le climat et l'environnement. C'est dans ce contexte qu'en 2019, le projet Naturellement Popcorn a été lancé pour une durée de 6 ans afin d'œuvrer à une filière de maïs popcorn durable. Le projet est porté par Nataïs, leader européen du maïs popcorn, en partenariat avec l'Institut National de Recherche Agronomique et de l'Environnement (INRAE), la coopérative agricole Agro d'Oc, du Cesbio et d'une entreprise développant des outils numériques. Nataïs est localisée dans le Gers et récolte 55 000 t de popcorn par an via 280 agriculteurs partenaires (Nataïs, 2020). Un des enjeux de la filière maïs popcorn, localisée dans le Sud-Ouest de la France, et de ce projet est la gestion des adventices plus particulièrement de *Datura stramonium* (Datura stramoine). Cette espèce contient des alcaloïdes dont l'atropine et la scopolamine pouvant entraîner notamment des troubles oculaires, musculaires et cardiaques après manipulation sans protection aux champs ou consommation de produits contaminés (Figure 1) (Krenzlok, 2010). De ce fait, sa gestion est donc un enjeu agronomique et sanitaire majeur afin de produire du popcorn sans risque pour le consommateur d'autant plus en respectant les objectifs de réduction de l'utilisation des produits phytosanitaires.

Plus globalement, les adventices, définies comme l'ensemble des espèces non semées poussant spontanément dans une parcelle (Gasquez, 2018), sont la première catégorie de bioagresseurs en terme de perte de rendement en maïs (Oerke, 2006). Cette perte constitue la nuisibilité primaire directe (Cordeau et al., 2018 - Figure 1). En maïs, la perte de rendement liée aux adventices est estimée à 10% en présence de désherbage (Oerke, 2006) et à 50% en l'absence de désherbage (Soltani et al., 2016). De plus, le désherbage représente 80% de l'indice de fréquence de traitement en maïs (hors popcorn) (Agreste Midi-Pyrénées, 2015). Les communautés adventices ont également une nuisibilité primaire indirecte en gênant la récolte ou en diminuant sa qualité comme la présence de résidus de *D. stramonium* (Cordeau et al., 2018). Enfin, l'enrichissement du stock semencier et la dissémination des graines constituent la nuisibilité secondaire des adventices (Cordeau et al., 2018). Néanmoins, les communautés adventices sont le support des réseaux trophiques et fournissent de nombreux services écosystémiques (Kazakou et al., 2018). Récemment, Adeux et al (2019b) ont démontré, sur céréales d'hiver, que plus la communauté adventice est diversifiée, en termes d'espèces et/ou de traits fonctionnels, plus la perte de rendement est réduite par une réduction de la biomasse des adventices et de l'impact des espèces dominantes et compétitrices. Ce paradigme de gestion des adventices à vérifier permettrait à la fois de réduire leur nuisibilité et d'augmenter leurs bénéfices. De plus, le système de culture (SDC)

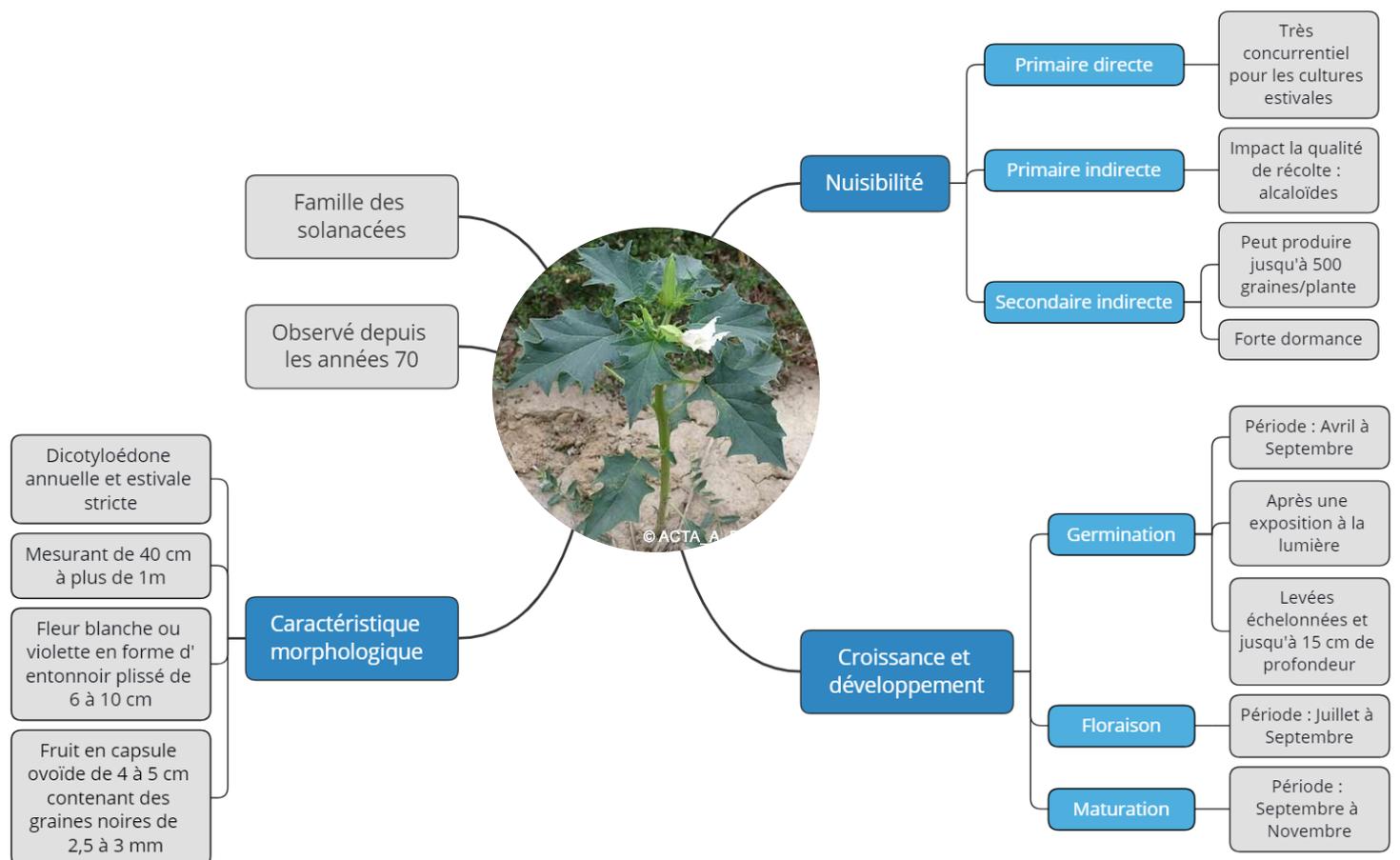


Figure 1 : Caractéristiques de *Datura stramonium* (Infloweb, 2020). Crédit photo : ACTA A. Rodrigez.

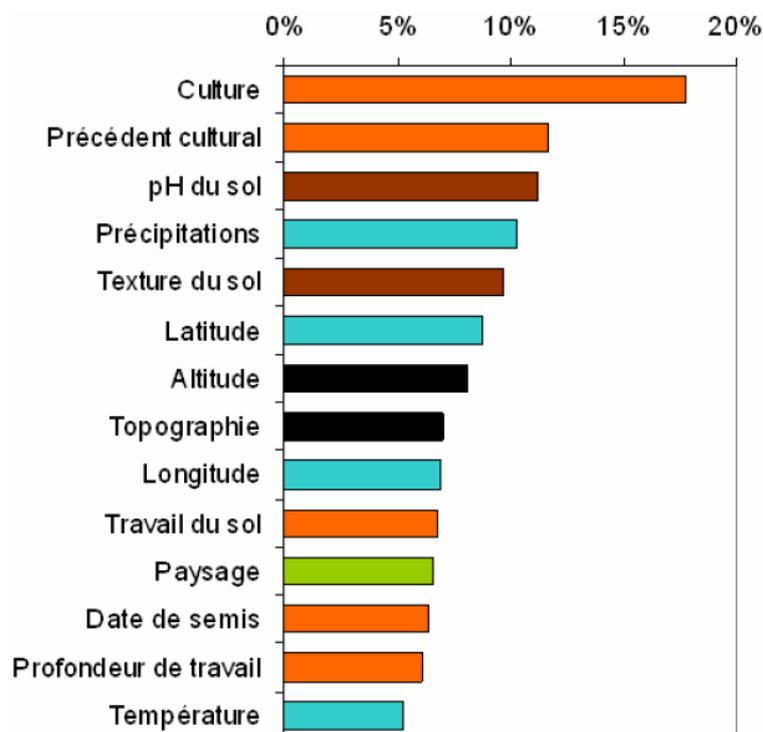


Figure 2 : Effet des filtres agricoles et environnementaux (Fried et al., 2008a). Légende : Orange = filtres agricoles, Marron = filtres environnementaux pédologiques, Bleu = filtres environnementaux climatiques, Vert = impact du paysage et Noir = divers.

semble être un outil intéressant pour concilier gestion des adventices et réduction de l'utilisation des herbicides (Adeux et al., 2019a).

2. Impacts des systèmes de cultures sur les communautés adventices et *D. stramonium*

2.1. Théories et concepts autour des communautés adventices

Les communautés adventices sont influencées par les paramètres biotiques (*e.g.* la culture en place) et abiotiques (*e.g.* type de sol, pH, ...) de la parcelle (Figure 2). Ces paramètres, appelés filtres, sont définis comme des contraintes favorisant ou défavorisant l'établissement d'une ou plusieurs espèces dans une communauté adventice donnée (Fried et Maillet, 2018). La communauté adventice est composée d'espèces possédant les caractéristiques biologiques, appelées traits (Figure 3), leur permettant i) de « passer aux travers » des filtres environnementaux de la parcelle puis ii) d'outre-passer les interactions interspécifiques et de « passer aux travers » des filtres agricoles (Booth et Swanton, 2002; Fried et Maillet, 2018). Le pool total d'adventices de la parcelle peut être enrichi par des espèces arrivant naturellement ou introduites par les activités humaines dans la parcelle (*e.g.* outils agricoles), suivant ses traits de dispersion (Figure 3). Néanmoins, elles devront avoir l'ensemble des traits nécessaire pour entrer dans la communauté afin de se développer (Booth et Swanton, 2002). Les filtres agricoles influencent la communauté directement (*e.g.* date de semis) ou indirectement en agissant sur certains filtres environnementaux (*e.g.* modification du pH), sur les interactions interspécifiques (*e.g.* désherbage éliminant les espèces dominantes) et sur la dispersion des espèces (*e.g.* transport par les engins agricoles) (Figure 3).

Ces concepts de filtres et de traits permettent d'étudier les communautés selon ses traits, et non seulement selon les espèces qui la composent (Gaba et al., 2017). Les traits permettent, également, de préciser les caractéristiques biologiques des adventices et de les différencier des espèces rencontrées dans les milieux ouverts non cultivés. En effet, Bourgeois et al. (2019) ont montré que les espèces adventices des parcelles agricoles sont majoritairement des thérophytes (espèces annuelles passant les périodes défavorables (hiver et sécheresse) sous forme de graines) à floraison plus précoce et plus longue, ayant une surface foliaire spécifique plus élevée et une affinité plus importante pour les milieux riches en nutriments, ensoleillés et secs. Cet ensemble de traits portant sur l'acquisition des ressources, la stratégie de croissance et la tolérance aux perturbations, leur permet de « passer à travers les filtres » notamment ceux liés aux pratiques agricoles comme le travail du sol et la fertilisation (Bourgeois et al., 2019).

2.2. Vers une modification des filtres par la transition écologiquement intensive

Le SDC est défini comme l'ensemble des pratiques culturales au travers des itinéraires techniques (ITK), des cultures et de leur ordre de succession mis en place sur un ensemble de parcelles par un agriculteur (Sebillotte, 1990). Du point de vue de la communauté adventice, le SDC est l'ensemble des filtres induits par l'agriculteur. Les SDC et leurs modifications au fil des années ont influencés les communautés adventices par modification des filtres. Par exemple, l'augmentation de l'utilisation des intrants et du travail du sol dans les SDC, à partir des années 50, a entraîné une sélection des espèces nitrophiles (*e.g.* *Chenopodium album* (chénopode blanc)) et plus compétitives *a contrario* des espèces adventices messicoles caractéristiques des milieux pauvres (*e.g.* *Agrostemma githago* (nielle des blés)) (Fried et al., 2008a).

Aujourd'hui, dans le cadre de la transition écologiquement intensive, les agriculteurs modifient et complexifient leurs SDC. La reconception des SDC mobilisant une diversification des leviers de gestion permet de contrôler efficacement les adventices tout en réduisant l'utilisation des herbicides et en limitant les pertes de rendement sur le long terme (Adeux et al., 2019a). À la suite des modifications, les communautés évolueront par modification des filtres. Il devient donc important d'étudier l'impact de la reconception des SDC sur les filtres et la gestion des adventices en prenant l'exemple l'agriculture biologique (AB) ou de l'agriculture de conservation (ACS), deux

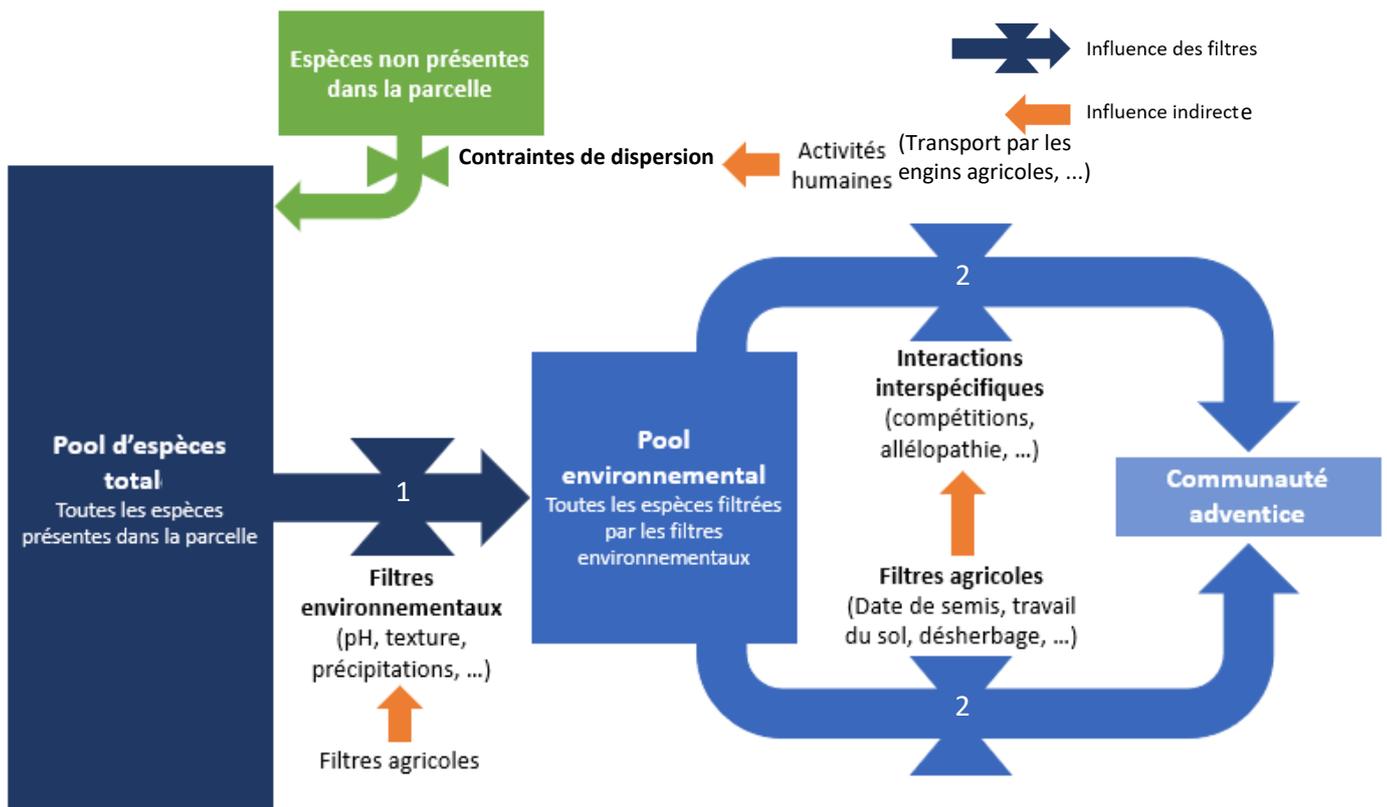


Figure 3 : Processus simplifiés de constitution de la communauté adventice dans les parcelles agricoles (d'après Booth et Swanton, 2002 ; Fried et Maillet, 2018). La taille des rectangles représentant les pools dépend du nombre d'espèces présentes dans chacun des pools sauf pour celui appelé « Espèces non présentes dans la parcelle ». Les numéros 1 et 2 dans les flèches de filtrage correspondent aux numéros du premier paragraphe du 2.1

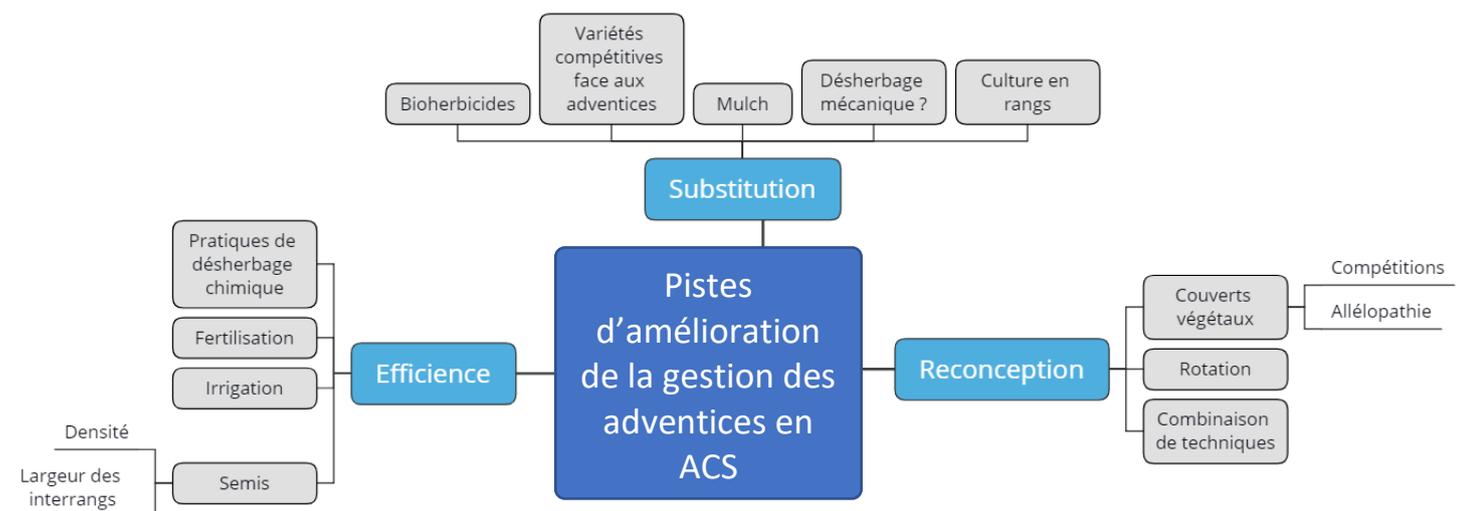


Figure 4 : Synthèse des pistes d'améliorations de la gestion des adventices dans les SDC en ACS (d'après Bajwa, 2014). Le désherbage mécanique peut être une solution de substitution. Néanmoins, son utilisation dépendra du contexte, de la tolérance de l'agriculteur à travailler son sol et du développement de technologies ne nécessitant pas de travailler le sol.

modes de production largement mobilisés dans la transition écologiquement intensive.

En AB, les communautés adventices ont une abondance (Herzog et al., 2019; Smith et Gross, 2006), une richesse spécifique (Ryan et al., 2010) et une diversité (Armengot et al., 2012) plus importante qu'en « conventionnel ». Herzog et al (2019) observent une forte variabilité de l'abondance des adventices dans un réseau de parcelles d'agriculteurs en AB. Cette variabilité est plus liée aux différentes stratégies de gestion mises en place par les agriculteurs et par leur tolérance aux adventices que par l'ancienneté de leur transition en AB (Herzog et al., 2019). La plus grande diversité et richesse spécifique des adventices en AB sont expliquées notamment par l'arrêt de l'utilisation des engrais et des herbicides de synthèses (Hiltbrunner et al., 2008).

L'orientation vers des SDC en AB utilisant du fumier ou des légumineuses comme source d'azote impacte également les communautés adventices. En effet, l'apport de fumier augmente le stock semencier et la teneur en azote du sol filtrant ainsi les espèces nitrophiles (Ryan et al., 2010). Ryan et al (2010) montrent, dans une rotation maïs-soja-blé, que la transition vers l'AB, augmentant l'intensité du travail du sol et retardant les dates de semis, entraîne une plus grande proportion d'espèces annuelles, levant plus tôt en saison et pendant une période de temps plus importante. Smith et Gross (2006) ont observé une richesse spécifique plus forte entraînant une variabilité annuelle plus forte dans les communautés adventices des maïs en AB et en rotation (maïs-maïs-soja-blé) que celles en « conventionnel » avec la même rotation et celles en monocultures de maïs en AB et en « conventionnel ».

Enfin, le **développement de SDC en ACS**, émanant notamment des enjeux de réduction des coûts et de la restauration de la qualité des sols, entraîne des modifications dans les communautés adventices en filtrant certains traits (Trichard et al., 2013). En effet, la réduction du travail du sol et l'orientation vers des stratégies de désherbage de post-émergence filtrent les espèces selon leur type de cotylédon (*i.e.* mono/dicotylédone), leur type biologique (*i.e.* positionnement des organes de survie : thérophyte (graines), hémicryptophyte (bourgeons à la surface du sol) et géophyte (organe racinaire)) et la taille des graines (Bajwa, 2014; Trichard et al., 2013).

Dans les SDCs en ACS, le contrôle des communautés adventices par les méthodes de désherbage chimique de pré-émergence notamment et mécanique est plus difficile (Bajwa, 2014). En réponse, une gestion systémique des adventices semble être prometteuse dans ces SDC où l'enherbement est l'une des plus grosses problématiques (Bajwa, 2014). Dans ce contexte, le concept ESR de Hill et MacRae (1995) peut être pertinent. En effet, l'Efficiéce (E) du désherbage par le SDC peut être amélioré en premier lieu. Puis, des moyens de Substitutions (S) peuvent être développés et intégrés au SDC. Enfin, les SDC en ACS peuvent également être reconçus (R) afin de résoudre le problème plus en amont (Figure 4).

Une des techniques phares de l'ACS est le semis direct sous couvert végétal détruit au moment du semis (SDSC). Cette technique a un impact négatif sur l'émergence et la croissance des adventices annuelles car leurs graines sont présentes en surface et recouvertes par la culture intermédiaire (Cordeau et al., 2015). En SDSC de maïs, une augmentation de la proportion des graminées annuelles et estivales a été observée avec un impact non significatif sur le rendement en rotation maïs-maïs-soja-blé (Teasdale et al., 2007) ou significativement négatif en monoculture de maïs (Adeux et al., 2017). Zhang et al (1999) ont observé un impact négatif du SDSC de soja avec couvert végétal de seigle sur les populations de *D. stramonium*.

2.3. Impacts des composantes du SDC sur les communautés adventices et *D. stramonium*

Les composantes du SDC impactent différemment les communautés adventices (Figure 2). Il est donc important d'étudier l'impact de chaque composante sur les communautés adventices et leur traits afin d'identifier des moyens de gestion des adventices et de *D. stramonium*. Les composantes seront abordées par influence décroissante sur les communautés puis selon leur ordre de mobilisation dans l'ITK du maïs.

2.3.1. Impacts de la culture en place sur les communautés adventices

La culture en place est le premier filtre agricole avec un effet net de 18% sur les communautés adventices au niveau national pour toutes cultures considérées et de 24% pour les cultures d'été (Fried et al., 2008b). Selon la culture en place, les ressources en compétition et l'intensité de ces compétitions entre la culture et la communauté adventice vont différer et induire une sélection de traits dans la communauté afin de répondre aux compétitions par différents moyens : forte compétitivité, complémentarité de niche et ou tolérance (Gaba et al., 2017).

Perronne et al (2015) ont montré que les espèces observées pendant la culture de maïs, de tournesol et de pois de printemps avaient une émergence et une floraison plus tardive par rapport à la totalité des communautés observées en cultures d'hiver, de printemps et d'été. Les espèces possédant ces traits étaient les plus performantes de la communauté par rapport à celles ne les possédant pas (Perronne et al., 2015). Plus spécifiquement au maïs, les espèces ayant une photosynthèse en C4 et levant en été, comme *Echinochloa crus-galli* (panic pied de coq), sont observées plus fréquemment, abondamment et spécifiquement dans cette culture (Fried et al., 2019). Les auteurs ont également observé plus fréquemment des espèces ayant des graines à forte longévité, des besoins en température plus élevés, une capacité à germer tout au long de l'année ou du printemps jusqu'à l'été et une période de floraison plus longue. Ces traits sont possédés par *D. stramonium* (Infloweb, 2020) à l'exception de la capacité à germer toute l'année. Dans les parcelles de maïs, les espèces composant les communautés sont donc plus généralement des espèces généralistes ou estivales. Cependant, l'influence de la culture en place peut être associée à d'autres filtres liés à sa conduite (Fried et al., 2008b). Par exemple, le travail du sol réalisé au printemps afin de préparer le lit de semence favorise la présence de graminées annuelles C4 (Cordeau et al., 2017).

2.3.2. Impacts du précédent cultural et de la rotation

Le précédent cultural est le deuxième filtre lié aux pratiques agricoles influençant les communautés adventices en France, avec un effet net de 16 % en culture de maïs (Fried et al., 2008b). Lié à ce dernier, la rotation influence également les communautés adventices. En effet, en monoculture de maïs, la proportion de spécialistes est plus importante que pour une rotation Maïs-Blé où les espèces généralistes dominent (Fried et al., 2010). L'alternance des dates de semis et des pratiques culturales au fil de la rotation filtrent les généralistes *a contrario* des spécialistes plutôt favorisés par une répétition de pratiques d'année en année (Fried et al., 2010). En effet, l'augmentation de la pratique de la monoculture de maïs exacerbe la présence d'espèces à germination printanière et les monocotylédones C4, spécialistes du maïs (Fanfarillo et al., 2019).

De plus, la rotation impacte plus la composition de la communauté que son abondance et sa richesse spécifique où au mieux des tendances ont été observées entre la monoculture de maïs et des rotations avec maïs (Fried et al., 2010; Smith et Gross, 2006). Néanmoins, le degré de diversité de la rotation semble être important pour comprendre l'impact de différentes rotations sur la diversité et l'abondances des adventices. Mahaut et al (2019) montre qu'une rotation diversifiée impacte la richesse et l'abondance des adventices sur le long terme, avec un effet plus prononcé sur les vivaces que sur les annuelles. La richesse spécifique augmente avec la diversité des ressources en lumière et des dates de semis entre les cultures tandis que l'abondance diminue avec l'augmentation de la diversité des dates de semis.

De plus, Teasdale et al (2019) montrent que la rotation constitue un moyen de lutte efficace contre *D. stramonium*. En effet, l'insertion d'un blé d'hiver dans une rotation courte maïs-soja permet de fortement diminuer l'infestation de *D. stramonium* comparé à la rotation maïs-soja (Figure 5). Dans la rotation de 6 ans maïs-soja-blé d'hiver-luzerne (3ans), la couverture de *D. stramonium* dans les cultures a diminué (Figure 5). Le nombre d'années sans cultures estivales en rang et l'ajout d'interventions réalisées en cours d'été ont permis de réduire voire de supprimer les infestations

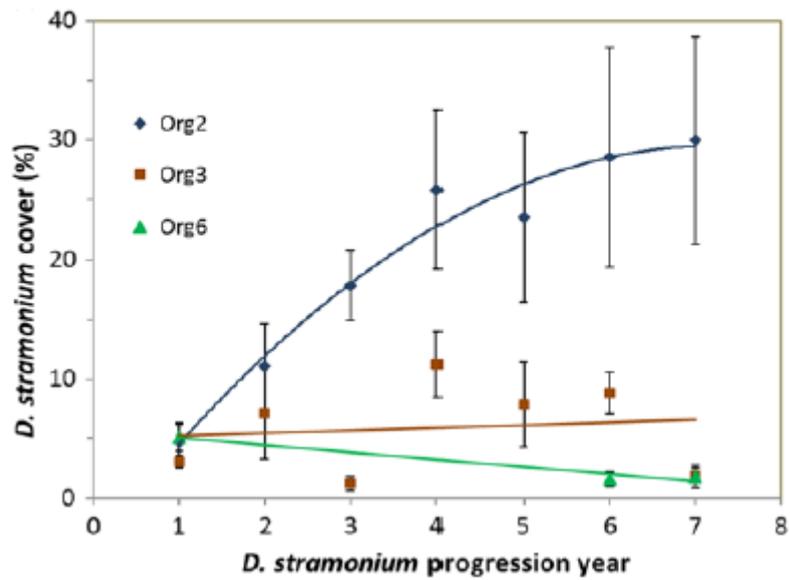


Figure 5 : Impact de différentes rotations sur la couverture du *D. Stramonium* (Teasdale et al., 2019). Légende : Org2 = rotation maïs-soja, Org3 = rotation maïs-soja-blé, Org6 = rotation maïs-soja-blé-luzerne (3 ans)

de *D. stramonium* au fil des années (Teasdale et al., 2019).

2.3.3. Impacts de la réduction/suppression du travail du sol dans les systèmes de cultures

Le travail du sol est un élément important de la gestion des adventices depuis plusieurs siècles (Gasquez, 2018). Le type et la profondeur de travail du sol sont le troisième et cinquième filtres agricoles des communautés adventices (Figure 2). Depuis plusieurs décennies, les Techniques Culturelles Sans Labour (TCSL) voire le semis direct strict (SD) sont de plus en plus présentes dans les SDC afin de réduire l'érosion des sols et les coûts de production (Streit et al., 2002). Le passage d'un SDC avec travail du sol annuel intensif à un SDC avec perturbation du sol réduite voire quasi nulle entraîne une modification des filtres induisant des changements dans la composition et la dynamique des communautés adventices (Buhler, 1995).

En conséquence, les traits liés à la morphologie des graines et à leur dispersion vont être impactés par cette orientation agronomique. La masse unitaire des graines est corrélée positivement à l'intensité du travail du sol et à la capacité de l'espèce à lever en profondeur en association avec la quantité de réserve d'énergie des graines (Gaba et al., 2017). De plus, les communautés adventices dans les SDC en SD produisent plus de graines et avec une masse unitaire plus faible que ceux en TCSL et en labour (Hernández Plaza et al., 2015). En SD, la majorité du stock semencier est contenue dans les cinq premiers centimètres du sol (Schermer et al., 2016). L'émergence étant réduite en surface à cause des plus fortes variations des températures et d'humidité et du plus faible contact terre-graine (Boyd et Van Acker, 2003 vu dans Gaba et al., 2017), les espèces produisant plus de graines sont favorisées car la probabilité qu'au moins une graine germe et produise d'autres graines augmente.

La diminution de l'intensité du travail du sol, en limitant la profondeur de travail et le retournement du sol ou en pratiquant le SD, influence l'abondance et la diversité des adventices. Dans un grand nombre d'études, le travail du sol réduit voire nul entraîne une augmentation de l'abondance et de la diversité par rapport au labour (Travlos et al., 2018), un élément étant à prendre en compte dans l'étude de l'impact des communautés sur la productivité des cultures, au vue des travaux de Adeux et al (2019). En maïs, les espèces pérennes et ayant une dispersion par le vent (*e.g. Sonchus arvensis* (laiteron des champs)) sont plus abondantes en SD qu'en TCSL et en labour (Streit et al., 2002). Les graminées annuelles sont plus abondantes en TCSL qu'en labour, à l'inverse des dicotylédones annuelles (Streit et al., 2002). Le strip-till où le travail du sol est concentré sur le futur rang de maïs permet de réduire l'abondance des adventices par 1,5 à 2 par rapport aux TCSL (Anderson, 2008; Trevini et al., 2013). En strip-till, la majeure partie des adventices est concentrée sur le rang (Trevini et al., 2013). Enfin, les levées de *D. stramonium* ont été réduites lorsque les graines étaient placées dans un sol non travaillé par rapport à un sol travaillé (Vasileiadis et al., 2016). Les auteurs ont également montré que les levées étaient plus importantes lorsque les graines étaient placées à 10 cm de profondeur dans un sol travaillé comparé à 5 cm en sol travaillé ou non. Le travail du sol réduit et le SD peuvent, selon cette étude, faire partie des leviers de gestion de *D. stramonium*.

2.3.4. Impacts des cultures intermédiaires

L'implantation de cultures intermédiaires (CI) est une technique de plus en plus incontournable dans les SDC afin de réduire la lixiviation de certains éléments minéraux et d'améliorer la qualité des sols, etc (Justes et Richard, 2017). Les CI permettent également de contrôler les adventices en entrant en compétition avec ces derniers pour la lumière, l'eau et les éléments minéraux et/ou en induisant directement ou indirectement des interactions allélopathiques entraînant une réduction de la germination et de la biomasse des espèces annuelles émergeant pendant l'interculture (Cordeau et Moreau, 2017). Le contrôle des adventices par la CI va être influencé par ses caractéristiques, sa gestion et les ressources disponibles (Cordeau et Moreau, 2017). Par exemple, la vitesse de croissance et la compétitivité des espèces implantées vont influencer le contrôle des

adventices *a contrario* du nombre d'espèces semées impactant peu le contrôle des adventices (Brust et al., 2014). L'effet de contrôle des communautés adventices par la CI est également observable pendant la culture du maïs. Mafakheri et al (2010) ont montré qu'une CI de seigle entraînait une réduction de l'abondance et de l'émergence des adventices, comme *C. album* et *D. stramonium*, lorsqu'il était détruit au début de l'épiaison ou à la floraison. Ainsi, la biomasse produit par le seigle était, respectivement, doublée et triplée, par rapport au stade montaison, et son effet allopathique plus localisé sur le début du cycle du maïs comparé à la destruction au stade élongation (Mafakheri et al., 2010). En plus de la destruction tardive, l'effet de contrôle des adventices au début du cycle est plus important lorsque la CI est composée de graminées, la biomasse à la destruction est importante et la densité de semis de la CI est augmentée par 2 ou 3 (Osipitan et al., 2019).

2.3.5. Impacts du semis et de ses caractéristiques

La date de semis influence également les communautés adventices et a été identifiée comme un moyen de gestion des adventices. En effet, Vidotto et al (2016) ont montré, dans le nord de l'Italie, qu'une date de semis de maïs précoce (avant le 20 mars) ou tardive (après le 30 avril) permet de diminuer la fréquence d'observation de la majorité des espèces étudiées comparées à une date de semis plus conventionnelle (entre le 20 mars et le 30 avril) sauf pour *C. album* et *Fallopia convolvulus* (renoué faux liseron) en semis précoce. Ce dernier permet, dans ce contexte, de réduire la fréquence d'observation de certaines espèces comme *Sorghum halepense* (Sorgho d'Alep), *Panicum dichotomiflorum* (panic dichotomique) et *Digitaria sanguinalis* (Digitaire sanguine) comparée aux semis tardifs (Vidotto et al., 2016). La densité de semis impacte la productivité des communautés adventices. En effet, Mhlanga et al (2016) ont répertorié dans la littérature une diminution de la biomasse des adventices allant de 26 à 99 % suite à l'augmentation des densités de semis par deux au maximum (de 47 000 à 130 000 pieds/ha). La réduction de la biomasse adventice varie notamment selon le niveau d'infestation : plus faible lors de forte pression (Mhlanga et al., 2016). La largeur de l'inter-rang impacte également la productivité des communautés adventices et donc les compétitions avec le Maïs. En diminuant l'inter-rang par deux au maximum, la biomasse des adventices diminue de 39 à 68 % (Mhlanga et al., 2016).

L'augmentation des densités de semis et/ou la réduction de l'inter-rang permettent d'augmenter la part de rayonnement capté par le maïs, d'accélérer la fermeture de l'inter-rang et d'améliorer la répartition spatiale des pieds de maïs (Mhlanga et al., 2016). La compétitivité du maïs est donc améliorée et la part de rayonnement disponible pour les adventices réduites, diminuant ainsi l'activité photosynthétique de la communauté adventice. Néanmoins, l'augmentation des densités de semis peut augmenter les compétitions entre les pieds de maïs pouvant conduire à une diminution de rendement (Mhlanga et al., 2016) et logiquement à une augmentation des charges semences. L'utilisation de variétés de maïs plus compétitives face aux adventices et ou moins sensibles aux compétitions intraspécifiques peuvent être des voies d'amélioration encore peu étudiées dans la littérature (Mhlanga et al., 2016).

2.3.6. Impacts du désherbage : technique curative de gestion des adventices

Le désherbage et ses caractéristiques filtrent également les communautés adventices. Entre 1973 et 2004, Fried et al (2008a) rapportent une modification de 40 % des espèces observées parmi une liste de 25 espèces en culture de maïs. Les auteurs expliquent que cela peut être dû à l'utilisation des herbicides et à celle de l'atrazine fortement utilisée pendant cette période. En effet, les espèces plus tolérantes ou résistantes à cette molécule (e.g. *Panicum sp*, *Calystegia sepium* (liseron des haies) et *Solanum nigrum* (morelle noire)) ont progressé alors que les espèces les plus sensibles ont diminué (Fried et al., 2008a). De plus, la sélectivité et donc l'efficacité des herbicides peuvent être affectées par les caractéristiques morphologiques du système foliaire et racinaire des adventices (e.g. angle des feuilles, présence de cuticule et pilosité de la feuille) (Gaba et al.,

2017). Néanmoins, l'utilisation d'adjuvants pour améliorer l'efficacité des herbicides peut participer à contourner ces traits (Gauvrit et Dufour, 1990). La progression des espèces généralistes (e.g. *Senecio vulgaris* (seneçon commun), *Lolium sp* (rye grass) et *Poa trivialis* (pâturin annuel)) peut être expliquée par leur capacité à germer toute l'année et dans une période sans application d'herbicides (Fried et al., 2010).

Les herbicides permettent de contrôler les communautés adventices car la densité et la richesse spécifique des adventices sont négativement corrélées à la dose d'application (Grundy et al., 2011). Selon ces auteurs, l'utilisation d'un programme herbicide pré-émergence et la réduction des doses entraînent une plus grande diversité d'espèces dans les communautés adventices, comparé aux herbicides de post-émergence, en légumes de printemps de plein champs. Les stratégies de désherbage sélectif porté sur la ou les espèces dominantes permettent d'augmenter la régularité des espèces dans la communauté et donc leur diversité (Derksen et al., 2006). Ce fait devient important, suite aux travaux de Adeux et al (2019b), pour favoriser la diversité au sein des communautés adventices afin de limiter les pertes de rendement liées aux adventices. Sur *D. stramonium*, les herbicides à base de Mesotrione et S-metolachlor (e.g. camix) montrent une très bonne efficacité (GERSYCOOP, 2015). Dans le but d'une gestion écologiquement intensive de *D. stramonium*, l'utilisation de champignon (*Alternaria crassa*) comme bioherbicide, encore peu documentée, a montré une bonne efficacité sur le *D. stramonium* entre 20 à 30°C (Douglas Boyette et Turfitt, 1988).

Le désherbage mécanique montre, également, une bonne efficacité de contrôle de la flore adventice en maïs mais reste moins efficace que les herbicides (Pannacci et Tei, 2014). Néanmoins, dans cette étude, aucune perte de rendement significative n'a été observée. Toutefois, le désherbinage, passage de bineuse associé à une application d'herbicide sur le rang, montre une efficacité similaire au désherbage chimique en plein et tout en réduisant l'utilisation d'herbicide de 50 % (Pannacci et Tei, 2014). L'association binage-herbicide a également montrée une bonne voire une très bonne efficacité sur le *D. stramonium* en appliquant un herbicide racinaire sur l'inter-rang. Cette technique permet d'obtenir une efficacité de 100% en réalisant deux binages à 3 et 7 feuilles du maïs en appliquant soit 2 l.ha⁻¹ ou 2,5 l.ha⁻¹ de camix sur l'inter-rang au dernier passage de bineuse permettant une réduction de l'indice de fréquence de traitement (IFT) de 46 et 33 %, respectivement (GERSYCOOP, 2015). La stratégie deux binages sans herbicide a montré une efficacité de 80 % sur *D. stramonium* qui reste plus faible qu'une application de camix (90 %), l'herbicide préconisé par Nataïs aux agriculteurs (GERSYCOOP, 2015).

2.3.7. Impacts de la fertilisation et de l'irrigation

Entre les années 60 et aujourd'hui, la proportion des espèces nitrophiles a augmenté dans les parcelles de maïs (Fanfarillo et al., 2019; Fried et al., 2019). La fertilisation azotée augmente la teneur en azote des sols filtrant ainsi les espèces nitrophiles au-détriment des espèces messicoles préférant un plus faible niveau d'azote (Fried et Maillet, 2018). L'abondance des adventices augmente lorsque le maïs est fertilisé en azote et/ou en phosphore en particulier lorsque les communautés sont dominées par les espèces répondant le mieux à l'azote et/ou au phosphore réduisant ainsi la diversité de la communauté (Travlos et al., 2018).

Les apports d'engrais, au lieu d'être épandus en plein, peuvent être localisés sur le rang de maïs au semis. Cette technique, concentrant les éléments minéraux aux pieds du maïs, a entraîné une diminution des pertes de rendement du maïs liées aux adventices de 7 points en moyenne (Anderson, 2000). Suivant les modalités de densité de semis et de largeur d'inter-rang, la biomasse de *Setaria italica* (millet des oiseaux), une graminée annuelle et estivale, a été réduite de 10% à 60% lorsque la fertilisation était localisée contre 0% à 50% pour la fertilisation en plein (Figure 6) Concernant l'irrigation, Fanfarillo et al (2019) démontre que l'affinité des communautés adventices rencontrées dans les parcelles de maïs pour l'humidité a augmenté entre les années

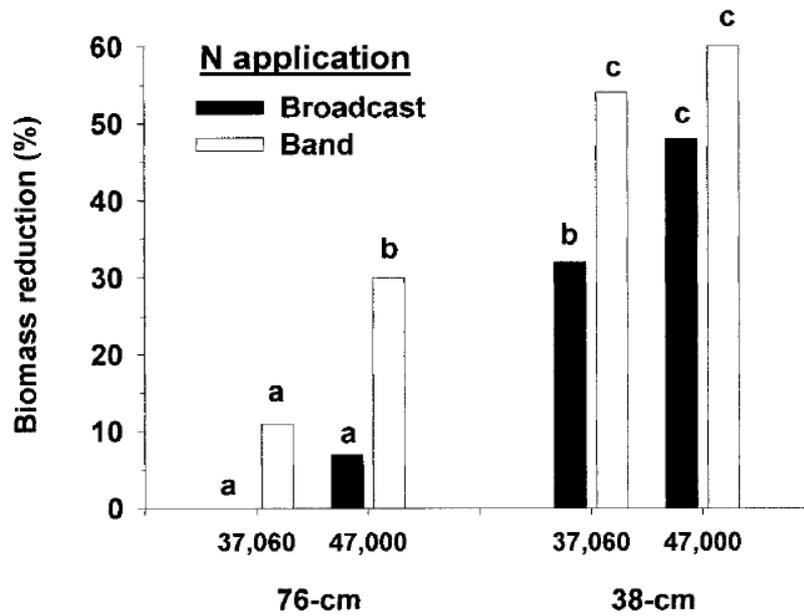


Figure 6 : Impact du mode d'apport d'engrais sur la réduction de la biomasse de *S. italica* en culture de maïs (Anderson, 2000). Le mode d'apport est associé à deux densités de semis différentes (37 060 pieds/ha et 47 000 pieds/ha) et à deux largeurs d'inter-rangs (76 et 38 cm). Les lettres indiquent les différences significatives entre chaque combinaisons des modalités (test Fisher's protected LSD ($\alpha=0,05$)).

60 et aujourd'hui. Selon ces auteurs, le développement de l'irrigation a favorisé les espèces méso-hydrophiles (e.g. *Xanthium italicum* (Lampourde d'Italie)) *a contrario* des espèces préférant les milieux secs.

3. Intérêts et objectifs de l'étude

L'étude de la littérature montre que l'impact du SDC et de ses composantes sur les communautés adventices est assez bien documenté pour le maïs et peut donner des pistes pour concevoir des SDC écologiquement intensifs et économes en herbicides. Néanmoins, assez peu d'études (e.g. Adeux et al., 2017) évaluent les performances de ces SDC vis-à-vis de la gestion des communautés adventices en maïs. Cependant, des travaux plus fondamentaux, réalisés sur céréales (e.g. Adeux et al., 2019b), peuvent fournir de nouveaux cadres de travail dans l'évaluation des SDC en maïs avant de les reconcevoir. C'est dans ce cadre que s'inscrit l'étude portant sur l'évaluation des communautés adventices présentes dans des SDC maïs popcorn d'agriculteurs mettant en place des techniques contrastées et participant au projet Naturellement Popcorn afin de produire durablement du maïs popcorn.

En effet, cette étude s'inscrivant dans le projet Naturellement Popcorn aura pour objectifs de i) poser les bases du suivi de 5 ans mis en place dans le réseau d'agriculteurs du projet, ii) d'évaluer l'efficacité de gestion des adventices et de *D. stramonium* par les SDC des agriculteurs suivis ayant recours ou non à différentes techniques écologiquement intensives (e.g. réduction du travail du sol et couverts végétaux) et iii) apporter les premiers éléments sur les filtres environnementaux et agricoles favorisant *D. stramonium* dans les parcelles de maïs popcorn. A partir de la littérature, nous pouvons supposer que plus les SDC seront diversifiés, plus la nuisibilité des communautés adventices sera diminuée par l'action de filtres diversifiés et possiblement par la présence de communautés diversifiées. De plus, nous pouvons supposer que les SDC fournissant les conditions favorables à *D. stramonium* favorisent sa présence (e.g. fort recours aux cultures estivales, exposition à la lumière, ...). Ce travail permettra de commencer à identifier, pour les agriculteurs et Nataïs, des SDC et/ou des techniques culturales contrôlant les adventices et surtout *D. stramonium* et à l'inverse ceux montrant un contrôle des adventices et de *D. stramonium* plus faible ainsi les facteurs pouvant expliquer ce phénomène.

II. Matériels et méthodes

1. Description du réseau d'agriculteurs

Le réseau d'agriculteurs du suivi est composé de 16 agriculteurs producteurs de maïs popcorn pour Nataïs et se situant à une heure en voiture de Toulouse (Figure 7). Les agriculteurs ont été sélectionnés pour leur contexte pédoclimatique et leur mode de production représentatif de ceux rencontrés dans la population d'agriculteurs producteurs de maïs popcorn pour Nataïs. Puis, les agriculteurs ont été choisis de manière à avoir dans le réseau des pratiques contrastées c'est-à-dire, des SDC intégrant, selon un gradient, différentes pratiques écologiquement intensives (e.g. travail du sol, implantation de cultures intermédiaires ou non, ...) et des pressions adventices et notamment en *D. stramonium* différentes.

2. Typologie des systèmes de culture des agriculteurs du réseau

2.1. Entretiens semi-directifs sur les systèmes de culture des agriculteurs du réseau

Un questionnaire a été construit à partir de la bibliographie et, notamment, des travaux de Yvoz et al. (2020). A partir de ce questionnaire, des entretiens semi-directifs par téléphone ont été réalisés auprès des agriculteurs du réseau afin de caractériser leur exploitation et leur SDC. Lors de l'entretien durant en moyenne une heure, l'agriculteur était amené, en premier lieu, à présenter son exploitation. Puis, il lui a été demandé de décrire en détail son SDC Popcorn c'est-à-dire l'ensemble des cultures intervenant dans la rotation contenant du maïs popcorn ainsi que leur itinéraire technique (ITK). Seul l'ITK du maïs popcorn 2020, du précédent et lorsque cela était

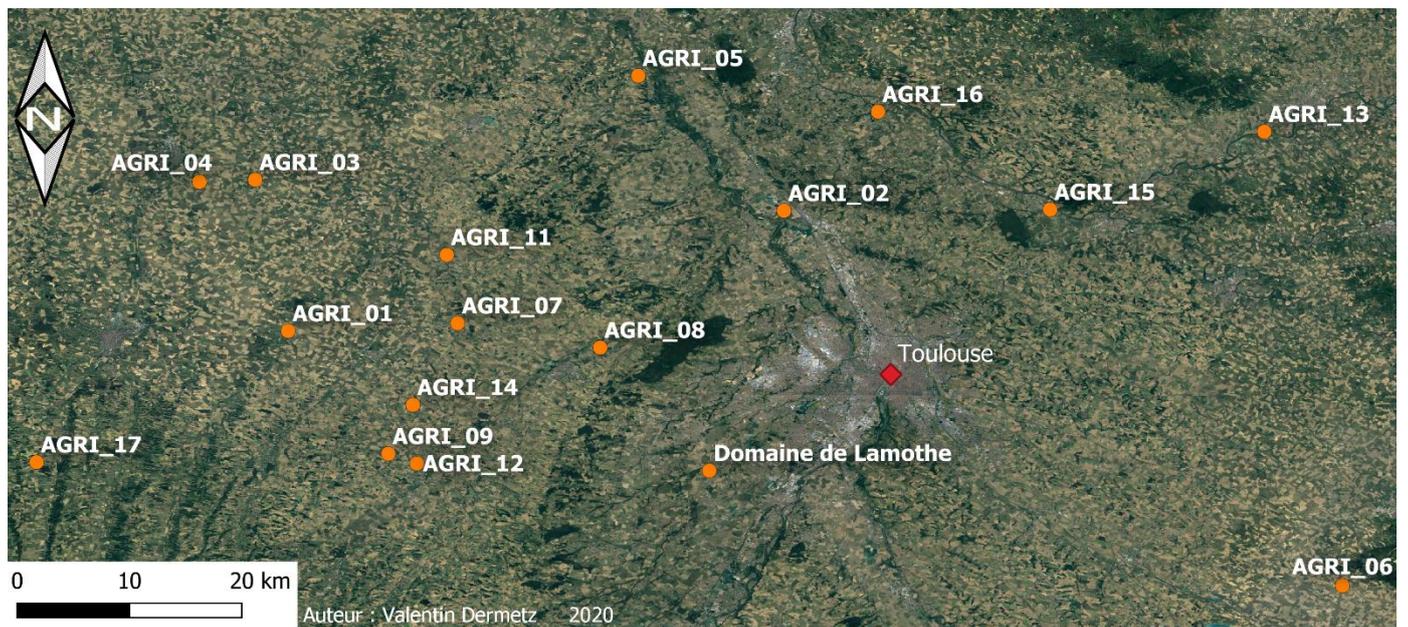


Figure 7 : Carte des agriculteurs du réseau du projet Naturellement Popcorn. L'entreprise Nataïs est située au même endroit que l'agriculteur 9.

possible de l'ante précédent étaient demandés. Connaître les ITK du précédent et de l'ante précédent a été relevé comme étant pertinent par Yvoz et *al.* (2020) afin de mieux caractériser l'impact des SDC sur les communautés adventices. Enfin, la satisfaction de l'agriculteur sur son SDC Popcorn et les points d'amélioration envisagés étaient demandés ainsi que les critères déterminant pour l'appropriation sur son exploitation d'une pratique ou plusieurs pratiques permettant de contrôler les adventices et *D. stramonium* sans herbicides.

2.2. Description des variables utilisées pour décrire l'exploitation en vue de la typologie

Suite aux entretiens, 21 variables ont été sélectionnées pour caractériser l'exploitation et l'agriculteur (Annexe 1). Concernant ce dernier, les variables utilisées permettent de caractériser son objectif principal et secondaire, sa motivation principale à cultiver le maïs popcorn, son utilisation de services de conseil, sa participation à des formations sur la gestion des adventices et s'il a une activité professionnelle en dehors de l'exploitation. Au niveau de l'exploitation, les variables utilisées ont pour objectif de quantifier la taille de l'exploitation, son assolement, la surface en maïs et en maïs popcorn, son degré de diversification, ses moyens humains, ses contraintes principales, le type de sol dominant (Tableau 1 et Annexe 1). Le recours à une ETA ou à du matériel en Coopérative d'Utilisation du Matériel Agricole (CUMA) pour les opérations de travail du sol et la récolte est également décrit.

2.3. Description des variables utilisées pour décrire le SDC Popcorn

Les composantes du SDC Popcorn sont décrites à l'aide de différentes variables qualitatives et quantitatives définies à différentes échelles temporelles (annexe 1).

En effet, la rotation et l'ITK du maïs popcorn 2020 est décrit ainsi que celui du précédent. La rotation est décrite par 10 variables. Elles ont pour objectif de décrire la longueur, la diversité de la rotation et l'importance de la culture du maïs dans la rotation (Tableau 1). La succession culturale est caractérisée par 3 variables afin de localiser le maïs popcorn 2020 dans la rotation. Ces variables sont le précédent, l'ante précédent et le nombre de cultures d'été cultivées successivement avant le maïs popcorn 2020 (*i.e.* 1 : le précédent est une culture d'été et 2 : le précédent et l'ante précédent sont des cultures d'été). Ensuite, le travail du sol est décrit par 9 variables dont 4 caractérisant le type de travail du sol utilisé afin d'identifier la mise en place de techniques de TCSL et de SD à l'échelle de la rotation (Tableau 1). L'intensité du travail du sol est également décrite grâce à la fréquence de labour à l'échelle de la rotation et la Profondeur Cumulée Pondérée (PCP) calculée pour le semis du maïs popcorn 2020, du précédent et la somme des deux PCP précédentes (Figure 8). La composante CI est décrite par 12 variables décrivant, à l'échelle de la rotation, la fréquence d'implantation et de non-couverture des intercultures longues, la présence ou non de CI et la gestion de la CI avant le maïs popcorn 2020 (Tableau 1). Pour le semis du maïs popcorn, la densité, la date et l'écartement de semis sont utilisés afin de préciser les caractéristiques de la culture. De plus, la fertilisation et l'irrigation sont caractérisées par 3 variables chacune afin de renseigner le type de fertilisation ou de matériel d'irrigation utilisé, la quantité d'apports d'eau et d'azote et leur fréquence (Tableau 1).

Enfin la gestion des adventices est décrite par 12 variables. Elles ont pour objectif de caractériser les objectifs de l'agriculteur, sa vision des adventices, les espèces problématiques rencontrés sur son exploitation, le type de lutte utilisé (*e.g.* chimique, agronomique, ...) et leur diversité (Tableau 2), ainsi que son programme de désherbage mis en place sur le maïs popcorn 2020 ainsi que le précédent (Tableau 1). A partir de cela, l'Indice de Fréquence de Traitement herbicide (Figure 9) et le nombre de matières actives utilisées pour le désherbage ont été calculés en utilisant les informations fournies par E-phy (Ephy-anses, 2020). Le but ici étant de caractériser l'intensité d'utilisation des herbicides dans chaque SDC Popcorn.

2.4. Stratégie de conception de la typologie

L'objectif de la typologie est de distinguer au mieux les SDC Popcorn suivis en utilisant un modèle

Tableau 1 : Description d'une partie des variables utilisées pour caractériser les exploitations, les agriculteurs et leur SDC Popcorn. Les variables qualitatives sont écrites en italique.

	Intitulés	Descriptifs
Exploitation et agriculteur	<i>Objectifs_Agri_1 ou 2</i> <i>Motiv_culture_popcorn</i> <i>Double_actif</i> SAU %SAU_Mais %SAU_popcorn Rdt_popcorn <i>Contraites_1 ou 2</i> <i>Sol_type</i>	<i>Objectif principal ou secondaire de l'agriculteur</i> <i>Motivations de l'agriculteur à la culture du maïs popcorn</i> <i>Double activité de l'agriculteur</i> Surface agricole utile pourcentage de la SAU en maïs pourcentage de la SAU en maïs popcorn Rendement moyen en maïs popcorn <i>Contrainte principale ou secondaire de l'exploitation</i> <i>Type de sol majoritaire de l'exploitation</i>
Rotation et succession culturale	Rot_retour_maïs_m Rot_durée Rot_%anné_Hiv/été Rot_%_culture_été Rot_%_hiver Rot_nbre_date de semis Rot_%_+1Mais Rot_%_Mais <i>type_rotation_1</i> Nb_ETE_avpop <i>culture_n-1</i> <i>culutre_n-2</i>	Nombre d'années entre deux maïs dans la rotation du SDC popcorn Nombre d'années totales de la rotation du SDC popcorn Fréquence d'alternance entre une culture d'été et une culture d'hiver et inversement Pourcentage de la rotation en culture d'été Pourcentage de la rotation en culture d'hiver Nombre de date de semis différentes de la rotation avec du maïs popcorn Pourcentage de la rotation où le maïs est cultivé au moins 2 années de suite Pourcentage de la rotation en maïs <i>Type de rotation</i> Nombre de cultures d'été cultivées sur la parcelle pendant la période 2018-2020 <i>Précédent cultural</i> <i>Ante précédent cultural</i>
Travail du sol	<i>Reduct_travail</i> Frequence_LAB_% <i>Présence_SD</i> <i>Présence_ST</i> <i>déstock_FS</i> Cumul_Prof_pond_Maïspop Cumul_Prof_pond_n-1 Cumul_Prof_pond_2ans	<i>Absence de labour sur l'exploitation</i> Fréquence de labour sur la rotation <i>Présence d'au moins une culture semée en direct stricte sans aucun travail du sol avant et pendant le semis</i> <i>Pratique ou non du strip-till avant maïs popcorn</i> <i>Pratique de faux semis ou déstockage (déchaumages répétés pendant l'été)</i> Profondeur Cumulée Pondérée avant le semis du maïs popcorn Profondeur Cumulée Pondérée avant le semis du précédent Somme de Cumul_Prof_pond_Maïspop et Cumul_Prof_pond_n-1
Culture intermédiaires	Frequence_nnCI <i>Presencec_CI_2020</i> <i>Presencec_CI_Rotation</i> nb_esp_CI Fréquence_cv_% <i>Type</i>	Fréquence du nombre d'intercultures hivernales non couvertes par une CI <i>Présence d'une culture intermédiaire avant le maïs popcorn 2020</i> <i>Présence d'au moins une culture intermédiaire dans la rotation</i> Nombre d'espèces dans la culture intermédiaire avant maïs popcorn Fréquence d'implantation des cultures intermédiaires dans la rotation <i>Type de culture intermédiaire implantée selon la période de croissance avant maïs popcorn</i>
Semis	<i>Date_semis_maïs</i> Densité_semis_maïs Ecartements	<i>Date de semis du maïs popcorn</i> Densité de semis du maïs popcorn Ecartement de semis du maïs popcorn
Fertilisation	<i>Type_ferti</i> Quantité_N_Mais Quantité_N_n-1	<i>Nom des éléments minéraux apportés</i> Quantité d'engrais apportée sur maïs popcorn Quantité d'engrais apportée sur le précédent
Irrigation	<i>Type_Irri</i> Frequence_Irri_% Quantité_Irri	<i>Type d'irrigation</i> Fréquence d'irrigation (Nombre de cultures irriguées/nombre de cultures totales) Quantité d'eau apportée
Gestion des adventices	<i>Objectifs_désherbage</i> <i>Vision_adventices</i> <i>Esp_probleme</i> <i>Type_lutte</i> Diversité_levier <i>Programme_nataïs</i> <i>Programme_deshherbage_Maïs</i> <i>Programme_deshherbage_n-1</i> IFT_H NB_MA <i>Glypho_semis</i>	<i>Objectifs du désherbage</i> <i>Vision des adventices</i> <i>Espèces les plus problématiques</i> <i>Type de luttés utilisées</i> Nombre de leviers de gestion des adventices utilisés <i>Application ou non du programme conseillé par Nataïs</i> <i>Résumé du programme utilisé en maïs popcorn</i> <i>Résumé du programme utilisé sur le précédent</i> Indice de Fréquence de Traitement Herbicide Nombre de matières actives utilisées dans le programme de désherbage du maïs popcorn <i>Présence d'une application de glyphosate avant le semis ou juste après semis du maïs popcorn</i>

le plus informatif et réaliste possible avec un minimum de variables utilisées. Pour cela, différentes stratégies de conception de la typologie ont été choisies. Celle sélectionnée pour ce rapport est basée sur de l'expertise afin de choisir le nombre de groupe et les variables à conserver selon nos connaissances et les éléments de la bibliographie. La typologie issue de cette stratégie est nommée « modèle expertisé ». Un autre modèle basé sur l'utilisation d'outils statistiques est présenté en annexe 1.

3. Description du protocole et des variables mesurées et calculées

3.1. Plan d'échantillonnage

Pour chaque agriculteur, une seule parcelle a été suivie. Dans la majorité des cas, les parcelles suivies étaient déjà identifiées car elles faisaient partie du réseau de parcelles pilotes du projet Naturellement Popcorn servant de base à notre réseau. Pour les parcelles ne faisant pas parties de ce réseau pilote et ajoutées au nôtre, chaque parcelle a été choisie avec l'agriculteur selon le précédent cultural.

Dans chaque parcelle, 4 stations ont été placées, en excluant les passages d'enrouleur ou de pivot d'irrigation et les bordures de parcelles, selon la description donnée par l'agriculteur sur les différentes zones de la parcelle en termes de type de sol ou de salissement notamment présence/absence de *D. stramonium* observées les années précédentes. En présence de zone de salissement différentes, deux stations étaient placées dans la zone concernée (Figure 10). Si aucun *D. stramonium* n'avait été observé et que le salissement était homogène dans la parcelle selon l'agriculteur, les 4 stations étaient placées dans la parcelle selon le même schéma (Figure 10) et dans un même type de sol. Les stations ont une surface de 36m² comprenant 10 à 7,5 inter-rangs selon l'écartement de semis. Après avoir été placées, le point GPS du centre de chaque station a été enregistré à l'aide de l'application « Google Maps » et un schéma à main levée a été réalisé afin de placer les stations dans la parcelle selon des éléments du paysage fixes (*e.g.* arbres, pivot d'irrigation, bâtiment, ...) pour faciliter le retour sur les stations. Lors des observations, 2 quadrats de 0,25m² étaient placés dans chaque station afin d'échantillonner représentativement la flore de cette dernière. Chaque quadrat comprenait deux rangs de maïs et deux inter-rangs (Figure 8). Le plan d'échantillonnage s'inspire de ceux utilisés par Thomas (1985) et dans le projet Casimir (sd) réalisant le même type de suivi en parcelle d'agriculteur.

3.2. Suivis des communautés adventices, du maïs popcorn et du sol

Le suivi a été réalisé à deux stades clés de la culture du maïs popcorn : entre le stade 8 à 12 feuilles après le désherbage et à la floraison stade clé pour l'élaboration du rendement. A chaque stade, la composition et l'abondance des communautés adventices ont été mesurées à l'intérieur de chaque station et de chaque quadrat.

3.2.1. Suivi au stade 8 à 12 feuilles

A l'intérieur d'un quadrat de 0,25m², l'ensemble des espèces adventices étaient identifiées. Pour chaque espèce, le nombre d'individus a été déterminé en comptant soit le nombre de pieds pour les dicotylédones et monocotylédones annuelles et les vivaces monocotylédones ou le nombre de tiges pour les vivaces dicotylédones. Dans le quadrat, la couverture du sol par les résidus de culture et/ou de la CI a été estimée.

Puis, un rectangle de longueur 6m et de largeur 5 inter-rangs, environ 20 m², a été déterminé avec comme centre le quadrat. Dans ce rectangle, les espèces présentes ont été identifiées et notées. Puis leur abondance a été estimée en utilisant une table de classe de densité adaptée de la méthode « Barralis » (Tableau 3). Ces deux types de mesure ont été répétées deux fois par station.

3.2.2. Suivi à la floraison des maïs popcorn

A l'aide du schéma réalisé lors du placement des stations d'une parcelle et de leur point GPS, chaque station a pu être placée approximativement au même endroit dans la parcelle entre les

Tableau 2 : Leviers de gestion des adventices pris en compte dans la variable "Diversité de leviers". Les leviers ont été sélectionnés à partir des éléments de la littérature abordés dans la partie I.2..

Leviers de gestion des adventices	
Curatifs	Chimique
	Mécanique
Préventifs	Labour intermittent
	Culture intermédiaire
	Rotation
	Semis direct
	Faux semis ou déstockage
	Décalage des dates de semis
	Augmentation des densités de semis
	Réduction de la largeur de l'interrang
	Nettoyage des outils entre chaque parcelle
	Réduction de la fréquence d'irrigation

Tableau 3 : Descriptions des classes utilisées dans la méthode « Barralis » adapté du protocole du projet CASIMIR (projet CASIMIR, sd)

Classe	Nombre d'observations
1	1
2	2-4
3	5-10
4	11-15
5	16-30
6	31-50
7	>50
8	>100

$$PCP = \sum_{i=1}^i Profondeur_i \times PI_i \times PS_i$$

$PI_i =$ Pondérateur d'impact (cf tableau)

$PS_i =$ % de sol réellement travaillé (cf tableau)

$i =$ passage i de l'outil y

Outil y	Type de travail du sol	PI	PS
Labour	Inversion	1	1
Décompactage	Fragmentation	0,4	1
Déchaumeur à dent	Mixage et quelques inversions	0,8	1
Déchaumeur à disque	Mixage et quelques inversions	0,8	1
Herse rotative	Mixage	0,7	1
Vibroculteur	Mixage	0,7	1
Strip-till à 60 cm d'interrang	Mixage et quelques inversions	0,8	0,3

Figure 8 : Formule de la Profondeur Cumulée Pondérée (PCP). Le type de travail du sol pour chaque outil et le pondérateur d'impact ont été obtenus à partir de la méthode de calcul de l'indicateur Stir (Soil tillage intensity rating) (Lightle, sd) et du modèle RULES2 (USDA NRCS, 2012).

deux suivis. Comme pour le précédent suivi, 2 quadrats de 0,25m² ont été placés par station, de la communautés adventices et du maïs. La densité du maïs par mètre carré a été déterminée autour de chaque quadrat en comptant le nombre de pieds sur deux rangs pour une surface de 2 m², adaptée selon l'écartement de semis. Puis, à l'intérieur de la station, le nombre de pieds de *D. stramonium* a été déterminé ainsi que la richesse spécifique en identifiant les espèces présentes. Sur 5 parcelles du réseau, la courbe aire-espèce a été réalisée afin de pouvoir évaluer la qualité du protocole établi pour cette première année de suivi. Pour cela, la méthode classique, décrite par Mulugeta et al. (2001), a été adaptée en commençant par identifier les espèces présentes dans le quadrat de 0,25m², puis en doubler la surface et en identifiant les espèces présentes sur 0,50m² et non présentes dans le quadrat. La même manipulation a été répétée sur 1 ; 2 ; 4 ; 8 et 16 m². Cette mesure a été réalisée sur la première et la troisième station des 5 parcelles : les 4 plus représentative de chaque classe et celle en ACS. Enfin, au laboratoire, les espèces adventices prélevées dans chaque quadrat ont été triées puis identifiées, séchées pendant 48 heures à 80°C puis pesées. Les pieds de maïs prélevés ont eux aussi été séchés puis pesés selon le même protocole afin d'obtenir les biomasses sèches des maïs popcorn prélevés

3.3. Analyse de sol

Une analyse de sol a été réalisée par parcelle afin de connaître leurs propriétés physiques, chimiques et biologiques. 4 prélèvements de sol ont été réalisés par station sur une profondeur de 20 cm, à l'aide d'une tarière, lors du suivi aux stades 8 à 12 feuilles. Puis les 16 prélèvements de la parcelle ont été mélangés avant de réaliser un échantillon composite d'environ 1kg. Les échantillons composites ont été conservés à 4°C en attendant leur envoi au laboratoire d'analyse. Pour chaque échantillon, la granulométrie en 5 fractions, la teneur en matière organique, le C/N, l'azote organique, la teneur en phosphore Olsen, en potassium, en magnésium et en calcium ont été quantifiés ainsi que le pH eau.

4. Analyse des données

4.1. Typologie des SDC Popcorn étudiés

Le modèle de typologie a été établi à l'aide d'une Analyse Factorielle de Données Mixtes (AFDM) associant une Analyse en Composantes Principales (ACP) et une analyse en composantes multiples afin d'analyser en même temps des variables qualitatives et quantitatives (Pagès, 2004). La fonction « desc.var » du package « FactoMineR » a été utilisée pour identifier les variables caractérisant significativement les différentes classes. Puis, une Classification Hiérarchique sur Composantes Principales (HCPC) a été effectuée à partir de l'AFDM en utilisant toute l'inertie de cette dernière. Le nombre de classes a été défini par l'observation du dendrogramme. Afin d'estimer qualitativement la qualité de distinction des SDC Popcorn fournie par le modèle, une HCPC a été réalisée en utilisant uniquement sur les variables sélectionnées par chaque modèle. Les fonctions « dim.desc » et « cat.des » ont permis de caractériser, respectivement, les dimensions et les classes du modèle expertisé.

4.2. Suivis des communautés adventices, du maïs popcorn et du sol

A partir des données de densité ou de biomasse par espèce mesurée dans les quadrats, l'abondance totale a été calculée ainsi que les indices de diversité de Shannon et d'équitabilité de Pielou (Figure 9). Ensuite, toutes les données obtenues à l'échelle du quadrat ont été moyennées pour obtenir comme individus statistiques la station pour les abondances et la parcelle pour les compositions. Les proportions de certains traits écologiques ont été calculées à partir des données d'abondances. Ces traits sont le type de cotylédons, la durée de vie (i.e. annuel, vivace) et le type biologiques (i.e. thérophytes, hémicryptophytes et géophytes) obtenus à partir de la base de données HYPPA (INRA, 2000). Les analyses des biomasses ont été effectuées en utilisant l'ANOVA lorsque les conditions étaient respectées avec si besoin une transformation $\log(1+x)$. Sinon, le test

$$IFT \text{ Herbicide} = \sum_{i=1}^i \frac{\text{Dose appliquée de l'herbicide } i \times \text{Surface traité}}{\text{Dose Homologuée de l'herbicide } i \times \text{Surface totale}}$$

$$\text{Indice de Shannon} = \sum \frac{\text{Biomasse espèce } i}{\text{Biomasse totale du quadrat}} \times \log \left(\frac{\text{Biomasse espèces } i}{\text{Biomasse totale du quadrat}} \right)$$

$$\text{Indice d'équitabilité} = \frac{\text{Indice de Shannon}}{\log(\text{richesse spécifique})}$$

Figure 9 : Formule utilisée pour calculer l'IFT herbicide, l'indice de diversité de Shannon et d'équitabilité de Pielou.

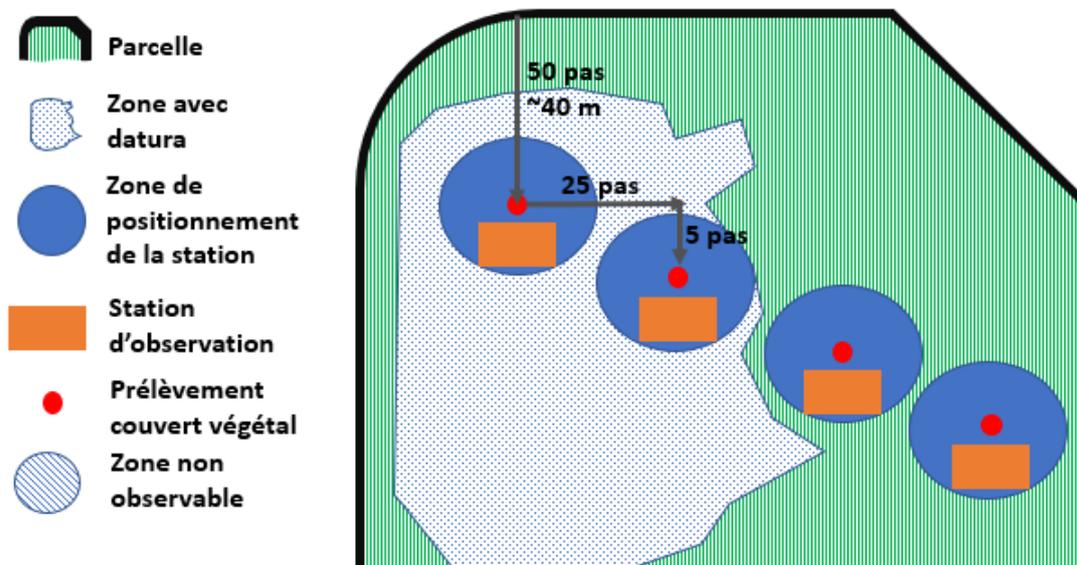


Figure 10 : Plan expérimental utilisé pour le suivi.

de Kruskal et Wallis était utilisé en remplacement. Les densités ont été analysées en utilisant une loi de distribution de Poisson adaptée aux données de comptage. La présence, la fréquence d'observation et l'abondance de *D. stramonium* et de *S. nigrum*, deux espèces toxiques pour l'homme, ont été analysées. Lorsqu'au moins un facteur testé avait une influence significative, un test post-hoc, le test de Tukey, a été réalisé.

La composition des communautés adventices a été analysée à l'aide d'ACP en utilisant les données issus de la méthode « Barralis » pour le suivi à 8-12 feuilles et les fréquences d'observation de chaque espèce pour le suivi à floraison. Le pourcentage des traits écologiques calculé à partir des données obtenues dans les quadrats ont été placées en variables supplémentaires dans ces ACP. En plus du graphique des variables, les fonctions « dim.desc » et « cat.des » ont permis de caractériser les dimensions et d'identifier les variables caractérisant significativement les différentes classes du modèle expertisé. Les résultats de l'analyse de sol ont été analysés par une ACP suivi d'une HCPC pour classer les parcelles selon leurs propriétés pédologiques. L'impact de ce contexte sur la composition des communautés a été quantifiée selon son coefficient de corrélation aux différentes dimensions des ACP.

III. Résultats

1. Typologie des agriculteurs et de leur SDC Popcorn

1.1. Descriptions des dimensions principales de l'AFDM

L'AFDM, utilisant 83 variables, permet de différencier sur l'ensemble des composantes de leur SDC mais la rotation, le travail du sol, la gestion des adventices et les CI sont les composantes différenciant le plus fortement les différents SDC. **La dimension 1**, comptant pour 11,5% de la variance totale, est corrélées positivement ($p < 0,01$) au nombre de date de semis différentes ($r = 0,88$) et le nombre de culture ($r = 0,83$) dans la rotation, la diversité de leviers de gestion des adventices ($r = 0,81$), la densité de semis du maïs et le nombre moyen d'années entre deux maïs dans la rotation (Tableau 4). Cette dimension est également corrélée positivement à l'intensité du travail du sol calculé pour le précédent, le maïs popcorn 2020 et sur ces deux années ($p < 0,05$) (Tableau 4). A l'opposé, la dimension 1 est corrélée négativement ($p < 0,01$) au nombre de matières actives herbicides utilisées ($r = -0,87$), à l'IFT herbicide ($r = -0,84$), au rendement moyen en maïs popcorn ($r = -0,81$) et à la quantité d'azote apporté sur le maïs popcorn 2020 et le précédent (Tableau 4). Cette dimension permet notamment de différencier les agriculteurs en agriculture biologique de ceux en agriculture « conventionnelle ».

Ensuite, **la dimension 2**, représentant 10,6% de la variance totale, est corrélée positivement ($p < 0,01$) à la fréquence de labour à l'échelle de la rotation ($r = 0,80$), au nombre de cultures d'été cultivées avant le maïs popcorn 2020 sur la parcelle suivie ($r = 0,79$), la part de la rotation où du maïs est cultivé au moins deux années de suite ($r = 0,77$), la fréquence de non-implantation de CI pendant les intercultures hivernales à l'échelle de la rotation, la fréquence d'irrigation et la part de la rotation en maïs ($p < 0,05$) (Tableau 4). Cette dimension est également corrélée positivement à la PCP pour le semis du précédent ($p < 0,01$) et la somme des deux PCP du maïs popcorn 2020 et du précédent ($p < 0,05$). La dimension 2 est corrélée négativement ($p < 0,05$) à la fréquence d'alternance entre les cultures d'hiver et d'été ($r = -0,73$) et la part de la rotation en cultures d'hiver ($r = -0,58$). Concernant les variables qualitatives, la dimension 2 est corrélée à l'absence de CI avant le maïs popcorn 2020 et/ou dans la rotation, à la présence de monoculture de maïs et à l'absence de précédent de type céréale d'hiver. Cette dimension dissocie notamment les agriculteurs selon l'importance du maïs dans leur rotation et la mise en place ou non de TCSL et d'implantation d'une CI pendant l'hiver

Enfin, **la dimension 3**, représentant 9,0% de la variance totale, différencie les agriculteurs selon la présence d'une rotation associée ou non à des CI dans leur SDC Popcorn ainsi que selon le type de structure de conseil et le nettoyage ou non des outils et engins agricoles (Tableau 4).

Tableau 4 : Description des trois premières dimensions de l'AFDM utilisée dans la conception de la typologie des SDC popcorn du réseau. Légende : * : p≤0.05 ; ** : p≤0.01 ; *** : p≤0.001

Dimension 1					
Variables quantitatives	r	p	Variables qualitatives	r ²	p
Rotation : Nombre de dates de semis	0,88	***	Type de leviers de gestion des adventices	0,91	***
Rotation : Nombre de cultures	0,83	***	Succession culturale : Ante précédent	0,90	***
Diversité de leviers de gestion des adventices	0,81	***	Culture principale de l'assolement	0,77	**
Densité de semis du maïs popcorn	0,75	***	Programme du désherbage du précédent	0,95	**
Rotation : Durée	0,72	**	Type de rotation	0,97	**
Somme PPC avant le semis du maïs popcorn 2020 et du précédent	0,67	**	Date de semis du maïs	0,72	**
PPC avant le semis du précédent	0,63	**	Succession culturale : Précédent	0,69	**
Nombre de cultures dans l'assolement	0,63	**	Objectif du désherbage	0,91	*
Rotation : Nombre moyen d'années entre deux maïs	0,62	**	Herbicide total avant semis	0,33	*
PPC avant le semis du maïs popcorn 2020	0,57	*			
Rotation : part de maïs	-0,57	*			
Quantité d'azote apportée sur le maïs popcorn 2020	-0,65	**			
Quantité d'azote apportée sur le précédent	-0,70	**			
Rendement moyen en maïs popcorn	-0,81	**			
IFT herbicide	-0,84	***			
Nombre de matières actives herbicides	-0,87	***			
Dimension 2					
Variables quantitatives	r	p	Variables qualitatives	r ²	p
Fréquence de labour dans la rotation	0,80	***	Présence d'une CI avant le maïs popcorn 2020	0,67	***
Succession culturale : Nombre de cultures d'été cultivées successivement le maïs popcorn 2020	0,79	***	Type de CI	0,75	***
Rotation : Part de la rotation où au moins deux maïs sont cultivés successivement	0,77	***	Structure de conseil	0,93	**
Fréquence d'absence de CI pendant les intercultures hivernales	0,66	**	Succession culturale : Précédent	0,72	**
PCP avant le semis du précédent	0,64	**	Présence d'une CI dans la rotation	0,52	**
Fréquence d'irrigation	0,59	*	Programme du désherbage du précédent	0,91	*
Somme PPC avant le semis du maïs popcorn 2020 et du précédent	0,59	*	Type de leviers de gestion des adventices	0,63	*
Rotation : part de maïs	0,57	*	Type de rotation	0,91	*
Richesse spécifique de la CI	-0,54	*			
Rotation : part de culture d'hiver	-0,58	*			
Rotation : Fréquence d'alternance entre culture d'hiver et d'été	-0,73	**			
Dimension 3					
Variables quantitatives	r	p	Variables qualitatives	r ²	p
Rotation : Part de la rotation où au moins deux maïs sont cultivés successivement	-0,52	*	Structure de conseil	0,91	**
Rotation : Part en maïs	-0,55	*	Nettoyage du matériel	0,68	**
Part de l'assolement consacré au maïs	-0,57	*	Type de CI	0,59	**
Fréquence d'implantation d'une CI dans la rotation	-0,64	**	Programme du désherbage du précédent	0,90	*
			Vision des adventices	0,54	*
			Objectif du désherbage	0,86	*

1.2. Classification hiérarchique des SDC Popcorn.

Sur l'ensemble des variables issues des enquêtes, l'HCPC dissocie les agriculteurs en 4 classes (Figure 11). La première classe regroupe 8 agriculteurs sur 16 et est caractérisée par une présence, pour l'ensemble des individus, d'un précédent céréale à paille (Figure 12). De plus, 62,5% des individus de cette classe vont mettre en place une rotation de type céréale-maïs popcorn ($p=0,01$). 87,5% des agriculteurs de cette classe ont une gestion des adventices associant des leviers chimiques et au moins 2 leviers agronomiques ($p=0,02$). Dû à leur type de rotation, les agriculteurs de cette classe vont avoir une fréquence d'alternance entre les cultures d'hiver et d'été plus importante que la moyenne (Figure 12). Cette classe va également être caractérisée par une intensité de travail du sol (PCP) plus faible que la moyenne (Figure 12). En plus de la réduction du travail du sol, 87,5% des agriculteurs de cette classe vont réaliser un désherbage non sélectif avant le semis du maïs contre 56,3% dans le réseau ($p=0,02$). Les agriculteurs de cette classe vont en moyenne utiliser 2 matières actives en plus lors de leur désherbage du maïs popcorn et apporter en moyenne environ $225 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ d'azote sur leur précédent contre $163 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ en moyenne dans le réseau ($p=0,02$). L'ensemble des agriculteurs situé dans le Gers, mettant en place des rotations et n'étant pas en AB, sont présents dans cette classe. Seul, l'agriculteur 13, étant en ACS, se situe dans le Tarn.

La classe 2 est uniquement constituée par l'agriculteur 2 mettant en place une rotation de type soja-céréale-maïs popcorn sans implantation de CI pendant l'hiver. Cet agriculteur, très proche des agriculteurs de la classe 3 sur les dimensions 1 et 2, se différencie assez nettement sur la dimension 3. Cet agriculteur se distingue également par son type de structure de conseil utilisé pouvant impacter indirectement son type de SDC Popcorn.

La classe 3 regroupe quant à elle les agriculteurs ayant une part importante de leur assolement et de leur rotation dédiée à la culture du maïs (Figures 11 et 12). En effet, le pourcentage de maïs va être plus élevé dans leur assolement, 42,2% contre 24,7% dans le réseau en moyenne ($p=0,005$), et dans leur rotation : 77,5% en moyenne contre 48,7% dans le réseau ($p<0,001$). De plus, 100% des agriculteurs, de cette classe, ont implanté leur maïs popcorn 2020 après une culture d'été dont 75% après un maïs. Les agriculteurs de cette classe vont également soit cultiver le maïs en monoculture pour 50% d'entre eux ou le cultiver en rotation de type 3 ans de maïs et 2 à 3 ans de cultures d'hiver expliquant un nombre d'années entre deux maïs plus faible et un plus grand pourcentage de la rotation où le maïs est cultivé au moins deux années de suite (Figure 12). Du fait du précédent maïs, l'intensité de travail du sol du précédent est significativement plus importante que la moyenne du réseau (Figure 12). Dans cette classe, 50% des agriculteurs n'ont pas implanté de CI avant le maïs popcorn 2020 (Figure 12). A l'inverse de la classe 1, la classe 3 est composée, en majorité, d'agriculteurs situés dans le Tarn et le Tarn-et-Garonne. Seul l'agriculteur 8, pratiquant la monoculture de maïs, est situé dans le Gers.

Enfin, la classe 4 associe, par leurs pratiques, les 3 agriculteurs en AB du réseau (Figure 11). En effet, ils utilisent tous des leviers agronomiques et mécaniques pour gérer leur communauté adventice (Figure 12). Leur programme de désherbage du maïs popcorn 2020 est constitué d'une alternance de passages de houe rotative et de herse étrille en début de cycle puis de passages de bineuse lorsque le maïs est plus développé. Ils partagent tous le même objectif de désherbage qui est d'avoir le moins d'adventices possibles dans la culture après désherbage *a contrario* des autres agriculteurs qui étaient plus proches du « zéro adventice » indifféremment ou non de leur nuisibilité. Ces trois agriculteurs vont utiliser un nombre de leviers de gestion des adventices plus important que dans le réseau : entre 7 et 8 leviers contre 5 en moyenne dans le réseau ($P<0,005$). Les leviers de gestion sont, en plus du désherbage mécanique, une densité de semis plus élevée de 17%, un nombre de dates de semis différentes plus grand, un nombre plus élevé de cultures et un plus grand nombre d'années entre deux maïs dans la rotation (Figure 12). Ces agriculteurs vont également être caractérisés par une fertilisation azotée du maïs popcorn réduite de $40 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$

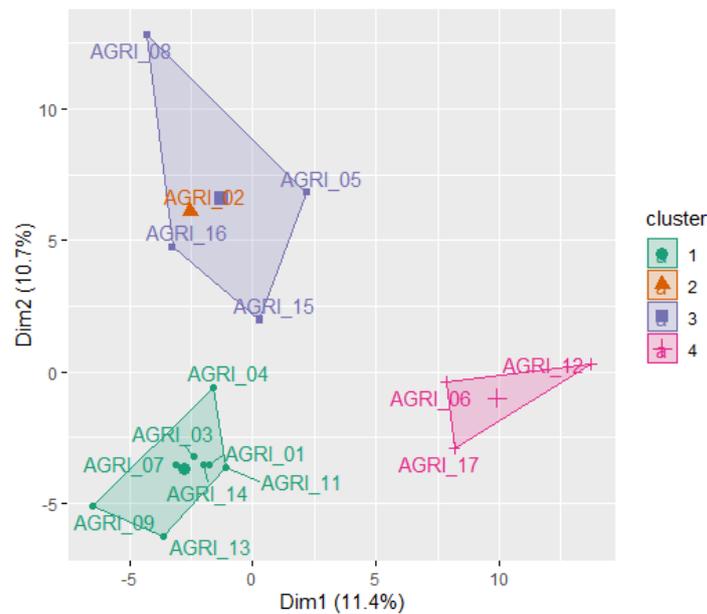


Figure 11 : Classification Hiérarchique des SDC Popcorn sur Composantes Principales de l'AFDM réalisée à partir des données d'enquêtes des agriculteurs du réseau

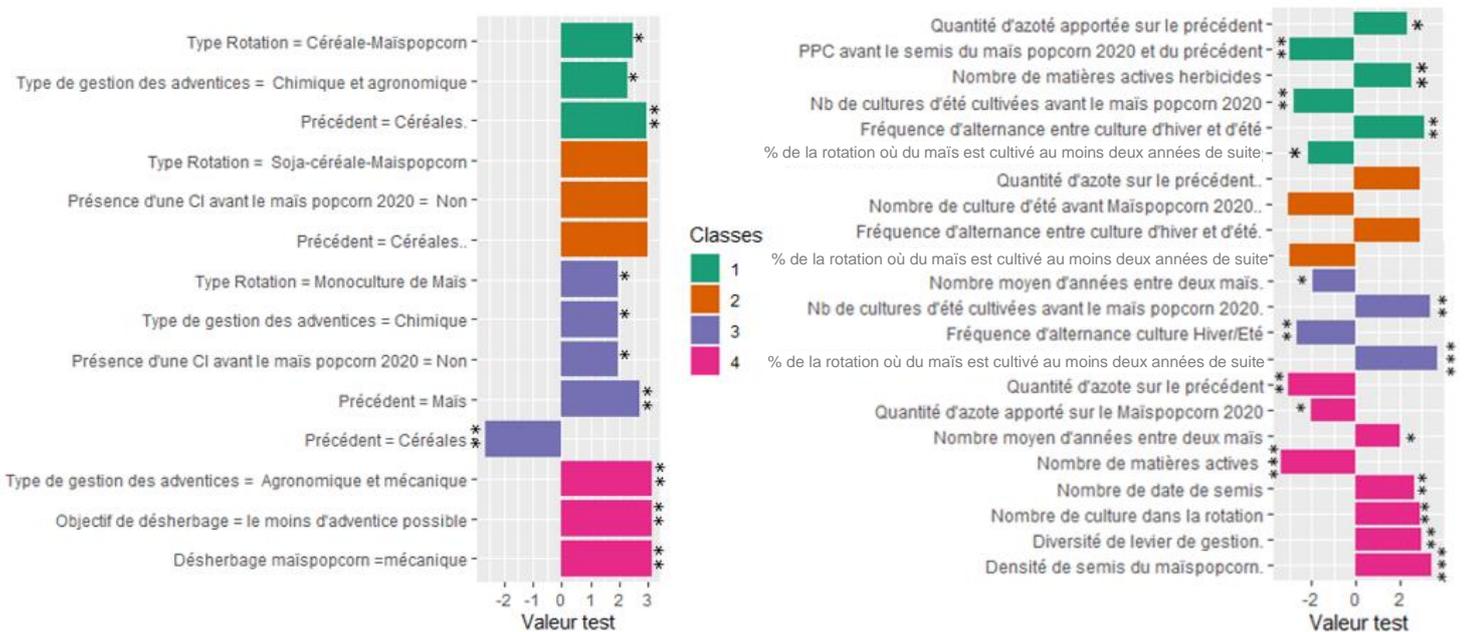


Figure 12 : Descriptions graphiques des classes de la classification sur les données d'enquêtes servant à construire le modèle expertisé. Le graphique de gauche représente les variables qualitatives catégorisées et celui de droite les variables quantitatives. Seuls les variables caractérisant significativement les 4 classes sont représentées. Pour une classe donnée, plus la valeur v test d'une variable est supérieure à 0, plus la valeur moyenne prise par la classe pour cette variable est élevée pour les variables quantitatives ou présentes pour les variables qualitatives. Pour une classe donnée, plus la valeur v test d'une variable est inférieure à 0, plus la valeur moyenne prise par la classe pour cette variable est élevée pour les variables quantitatives ou présentes pour les valeur qualitatives. Légende : * : $p \leq 0.05$; ** : $p \leq 0.01$; *** : $p \leq 0.001$.

($p=0,043$) et une absence de fertilisation ($p=0,002$) et de désherbage ($p=0,02$) sur le précédent. Du fait de leur mode de production, cette classe est caractérisée par l'absence d'utilisation d'herbicides ($p<0,001$) et par un rendement moyen du maïs popcorn de $3,87 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ contre $5,98 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ en moyenne dans le réseau ($p<0,001$).

1.3. Le modèle expertisé de caractérisation des SDC Popcorn.

A partir de l'analyse multivariée des données d'enquête, 18 variables couvrant la majorité des composantes des SDC à l'exception de l'irrigation ont été sélectionnées dans le modèle expertisé (Figure 12 et 13). Ce modèle est représenté sous forme d'arbre de décision en annexe 1. La rotation et la gestion des adventices sont les deux composantes les plus caractérisées par ce modèle. En effet, 10 variables sur 18 sont dédiées à ces deux composantes. Pour la rotation, sa diversité est décrite par la part du maïs dans la rotation, la part de celle-ci où le maïs est cultivé au moins deux années de suite, le nombre moyen d'années entre deux maïs, l'alternance entre cultures d'hiver et d'été et le nombre de dates de semis différentes. La succession culturale est également décrite en utilisant le type de précédent et le nombre de cultures d'été cultivées successivement avant le maïs popcorn 2020 afin de positionner le maïs actuel dans la rotation. La gestion des adventices est caractérisée par 5 variables décrivant les types et la diversité des leviers de gestion utilisés, les objectifs et le programme de désherbage du maïs popcorn 2020. La fertilisation est caractérisée par la quantité d'azote apportée sur le précédent et le maïs popcorn 2020. La présence ou non d'une CI avant le maïs popcorn 2020 est également pris en compte dans le modèle. Finalement, l'intensité du travail du sol est quantifiée à l'aide de la somme des PCP pour le semis du précédent et du maïs popcorn. La culture est quant à elle caractérisée par son peuplement en utilisant la densité de semis.

En utilisant un nombre limité de variables, le modèle permet de distinguer la majorité des classes de SDC Popcorn décrites auparavant. Entre les classes, deux différences notables sont observées : la diminution des distances entre les classes pouvant être observée par le changement d'échelle entre les deux classifications et la fusion de la classe 1 et 2 (Figure 11 et 13). L'agriculteur 2, pratiquant une rotation soja-céréales-maïs popcorn sans implantation de CI, a été placé dans la classe 1 caractérisée notamment par la pratique de rotation courte céréale-maïs popcorn. Cet agriculteur se distinguait également selon son type de structure de conseil, variable non retenue dans le modèle car lié qu'indirectement dans l'impact du SDC sur les adventices. A l'intérieur des classes, un rapprochement des individus est observé par rapport à la classification précédente (Figure 11 et 13). Variables selon les individus, les agriculteurs 8 et 16 se sont rapprochés en comparaison des agriculteurs 15 et 5. Le nombre réduit de variables du fait de la non-sélection de certaines, notamment celle caractérisant les CI, dans la construction du modèle expertisé explique ces phénomènes. Néanmoins, le modèle expertisé reste performant pour distinguer les SDC Popcorn avec 18 variables comparées aux 83 variables du jeu de données des enquêtes.

2. Classification des agriculteurs selon leur contexte pédologique

L'ACP conduite sur les variables pédologiques des parcelles étudiées dissocie les agriculteurs selon la granulométrie, les propriétés chimiques, le rapport C/N et la teneur en azote totale sur la dimension 1 et selon les propriétés biologiques sur la dimension 2 (Figure 14). L'HCPC permet de classer les agriculteurs en 3 groupes selon leur contexte pédologique (Figure 14a). Le premier groupe, regroupant les agriculteurs du Tarn et du Tarn-et-Garonne, est caractérisé par une teneur en sable plus importante, en moyenne de $480 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ contre $290,56 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ dans le réseau ($p=0,005$). Cette classe possède notamment une teneur en argile plus faible ($p=0,001$), un pH plus acide ($p=0,002$), une CEC plus faible ($p=0,002$), une teneur en calcium ($p=0,020$) et en matières organiques plus faibles ($p=0,004$) (Tableau 5). Le deuxième groupe est caractérisé par une teneur en carbone organique totale plus élevée (Tableau 5). Enfin, le troisième groupe est quant à lui caractérisé par une CEC et une teneur en calcium ($p=0,001$) et en argile ($p<0,001$) plus élevées.

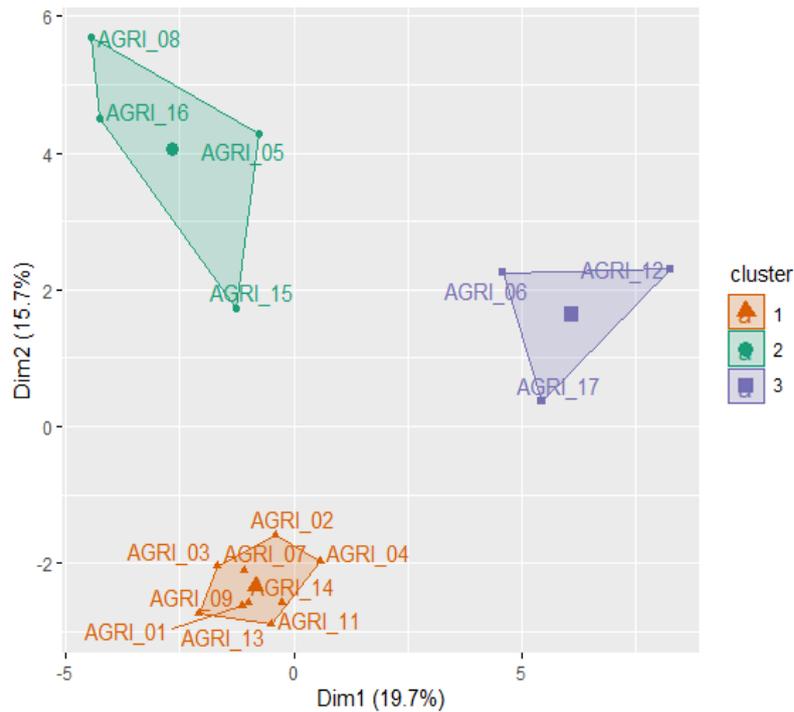
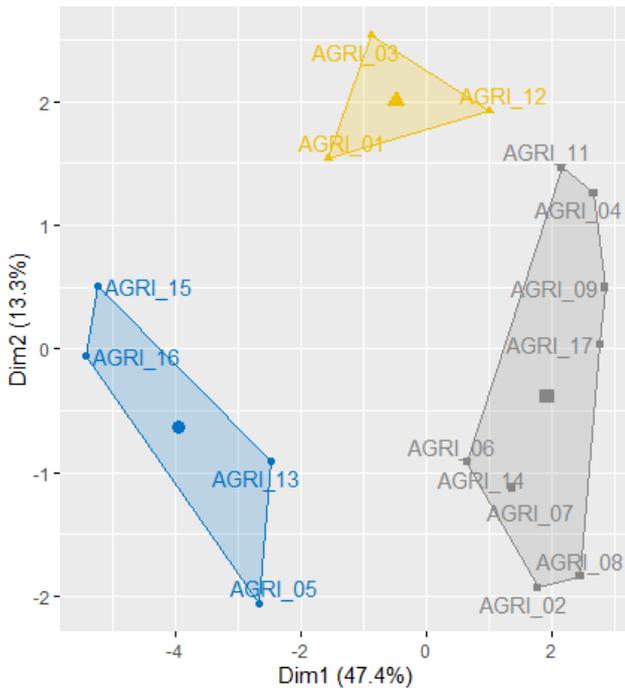


Figure 13 : Classification des SDC Popcorn obtenue à partir du modèle expertisé. La classe 1 et 2 de l’HCPC de la figure 11 correspondent à la classe 2 de l’HCPC de cette figure. La classe 3 de l’HCPC de la figure 11 correspond à la classe 1 de cette figure. La classe 4 de la l’HCPC de la figure 11 correspond à la classe 3 de cette figure.

a. Cluster plot



b. Variables - PCA

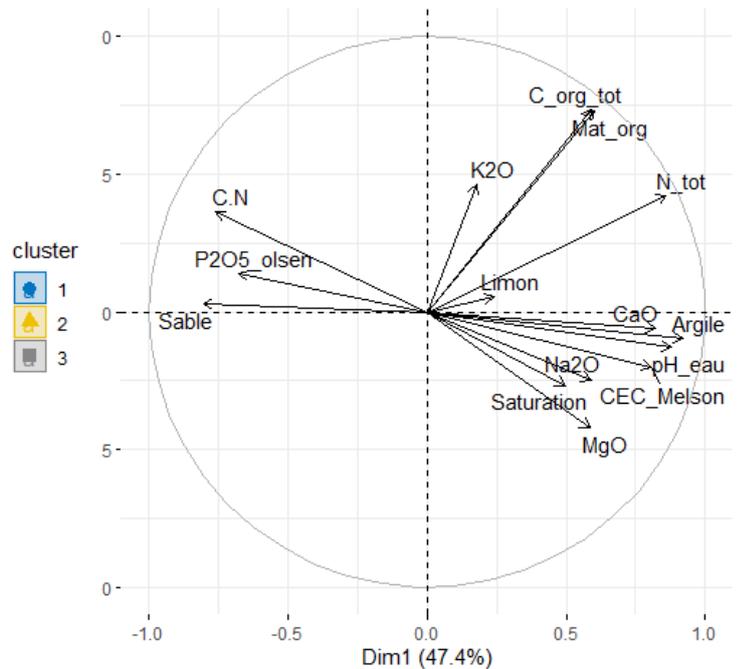


Figure 14 : Classification des agriculteurs selon leur contexte pédoclimatique. Le graphique de gauche représente les agriculteurs selon leur classe de contexte pédoclimatique (a.) et celui de droite représente les variables (b.).

La teneur en argile est de 378,44 g.kg⁻¹ en moyenne contre 296,31 g.kg⁻¹ dans le réseau.

3. Suivi des communautés adventices aux stades 8-12 feuilles du maïs popcorn

3.1. Abondances des communautés

L'abondance des communautés adventices, évaluée par leur densité, varie grandement entre les différentes parcelles ($p < 0,001$), la classe de SDC Popcorn mis en place par l'agriculteur ($p < 0,001$) (Figure 15) et l'orientation AB-ACS-« conventionnelle » des SDC ($p < 0,001$). En effet, les communautés adventices sont plus abondantes dans les parcelles de la classe 3 en AB, en moyenne de 71 ± 49 individus.m⁻², que dans celles de la classe 1, en rotation maïs-céréale, et la 2, SDC maïsicole, ayant une densité de 32 ± 62 ind.m⁻² et de 35 ± 53 ind.m⁻² respectivement (Figure 15a). Néanmoins, le groupement des différentes parcelles par la typologie cache une grande variabilité à l'intérieur des classes (Figure 15b). Une densité moyenne inférieure à 30 ind.m⁻² a été mesurée dans 12 des 16 parcelles suivies dont 8 avec 15 ind.m⁻² au maximum. Dans la classe 1, l'agriculteur 13, étant en ACS, apparaît comme un individu extrême car la densité moyenne mesurée dans sa parcelle est de 193 ± 71 ind.m⁻² ($p < 0,001$). De même dans la classe 2 où seules les densités adventices des parcelles de l'agriculteur 8 et 5 sont similaires ($p = 0,925$) (Figure 15b). Dans la classe 3, chaque parcelle a une densité significativement différente où l'agriculteur 17 a une abondance similaire à certains agriculteurs en « conventionnel » au seuil alpha 5% (Figure 15b). Enfin, dans les quadrats de la parcelle en ACS, une densité moyenne plus importante a été observée que dans ceux des parcelles en AB et en agriculture « conventionnelle » ($p < 0,001$). Celles en AB ont une densité plus élevée que dans les parcelles en agriculture « conventionnelle » ayant une densité moyenne de 20 ± 33 ind.m⁻² ($p < 0,001$).

3.2. Composition et diversité des communautés adventices

Une forte distinction entre les parcelles de la classe 3 et celles des deux autres classes peut également être observée dans la composition des communautés adventices. En effet, cette classe se distingue sur la dimension 1 de l'ACP corrélée positivement à la richesse spécifique (S) ($p < 0,001$, $r = 0,88$) et à de nombreuses espèces adventices comme les espèces du genre *Veronica sp* (Figure 16b). Dans la classe 3, les communautés vont être plus riches : 12 espèces observées contre 5 dans le réseau en moyenne ($p < 0,001$). La composition des communautés y est plus variable car chaque agriculteur est caractérisé par une communauté type. Par exemple, la communauté, observée dans la parcelle de l'agriculteur 6, est composée en majorité de thérophytes comme *S. nigrium*, *C. Album* et *Matricaria reticula* (Matricaire camomille). A l'opposé, l'agriculteur 12 possède une communauté adventice plus largement composée de dicotylédones comme *Xanthium strumarium* (Lampourde glouteron) et *D. stramonium* (Figure 16a).

Les classes 1 et 2 vont se distinguer notamment sur la dimension 3 corrélée positivement à la proportion de géophytes ($p = 0,002$, $r = 0,71$) (e.g. *C. sepium*) et de dicotylédones ($p = 0,001$, $r = 0,72$) (e.g. *S. nigrium*) et négativement à la proportion de thérophytes ($p = 0,012$, $r = -0,62$) et de monocotylédones ($p = 0,002$, $r = -0,72$) (e.g. *Panic sp*). Malgré une grande variabilité dans le rapport dicotylédones/monocotylédones, les communautés adventices observées dans les parcelles de la classe 1 semblent avoir une part plus importante de monocotylédones thérophytes comme les espèces des genres panic, sétaire et digitale (Figure 16). A l'opposé, les communautés de la classe 2 seront composées en plus grande partie de dicotylédones géophytes ou non comme *Polygonum persicaria* (Renoué persicaire) et *Sonchus asper* (laiteron rude) (Figure 16).

Enfin, le type de SDC Popcorn a plus d'impact sur la composition des communautés adventices observées que le contexte pédologique. Sur les dimensions 1, tout comme sur la 3, le type de SDC Popcorn a un coefficient de corrélation plus élevé que le contexte pédologique : 0,76 contre 0,18. D'autant plus que l'effet du contexte pédologique semble être tiré par des agriculteurs caractéristiques comme celui en ACS pour la classe 1 du contexte pédologique et les agriculteurs en AB pour les classes 2 et 3.

Tableau 5 : Caractéristiques des 3 contextes pédologiques

	Variables	Intitulé des variables	Unité	Test V (Cramer)	Moyenne de la classe	Moyenne du réseau	P
Classe 1	Sable	Sable	g.kg	2.791	480.00	290.56	0.005
	MgO	MgO		-2.045	0.18	0.31	0.041
	Na2O	Na2O		-2.145	0.01	0.02	0.032
	pH eau	pH_eau		-2.275	6.13	7.03	0.023
	CaO	CaO		-2.320	1.46	6.06	0.020
	Matière organique	Mat_org		-2.848	17.83	21.96	0.004
	Carbone organique total	C_org_tot		-2.850	10.30	12.69	0.004
	CEC Melson	CEC_Melson		-3.063	67.00	126.44	0.002
	Azote total	N_tot		-3.165	1.07	1.42	0.002
	Argile	Argile		-3.285	140.75	296.31	0.001
Classe 2	Carbone organique total	C_org_tot		1.988	14.70	12.69	0.047
Classe3	Argile	Argile		3.407	378.44	296.31	0.001
	CEC Melson	CEC_Melson		3.307	159.11	126.44	0.001
	CaO	CaO		3.244	9.33	6.06	0.001
	pH eau	pH_eau		3.242	7.69	7.03	0.001
	MgO	MgO		2.768	0.40	0.31	0.006
	Na2O	Na2O		2.059	0.03	0.02	0.039
	Sable	Sable		-2.167	215.67	290.56	0.030
	C.N	C.N		-2.268	8.58	9.02	0.023

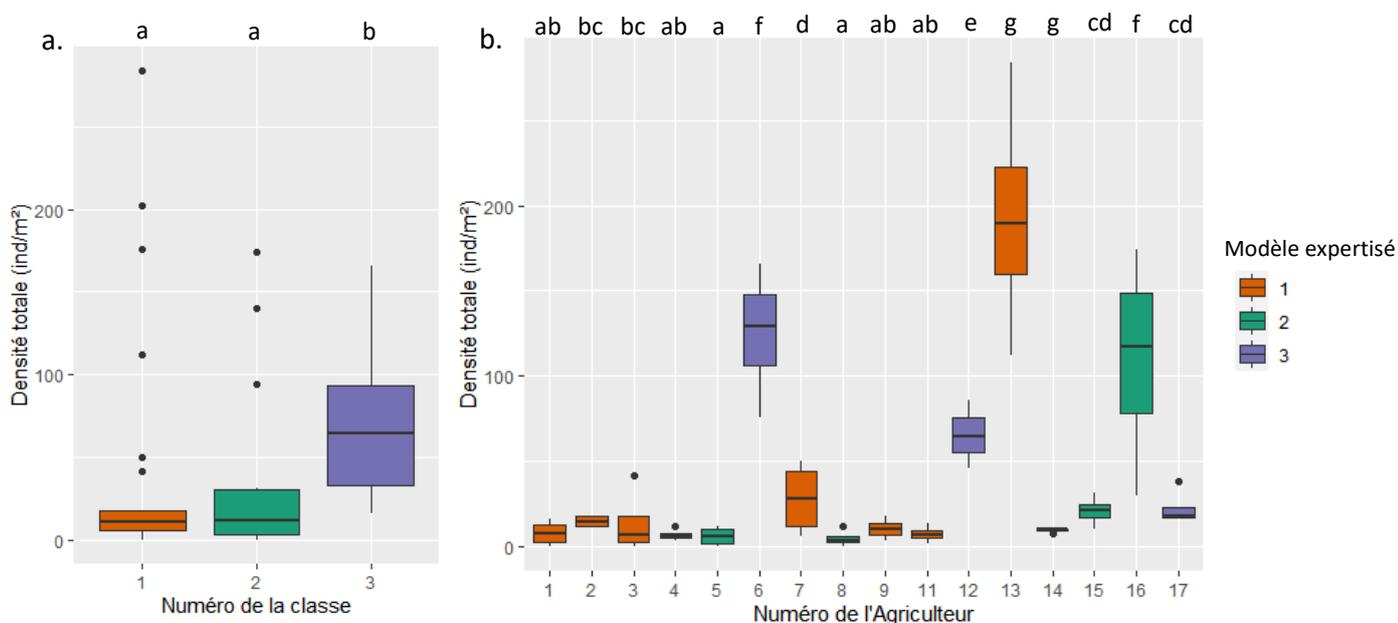


Figure 15 : Boxplots des densités totales par classes du modèle expertisé (a) et par agriculteurs (b). Les lettres au-dessus de chaque modalité indiquent les différences significatives du test post-hoc entre chaque modalité au seuil d'erreur alpha 5%.

4. Suivi du maïs popcorn et des communautés adventices au stade floraison

4.1. Performances du maïs popcorn et abondances des communautés adventices

Autour du stade floraison, les biomasses du maïs popcorn mesurées sur les parcelles du réseau diffèrent selon les différentes parcelles ($p < 0.001$), la classe de SDC Popcorn mis en place par l'agriculteur ($p < 0.001$) et l'orientation des SDC ($p < 0,001$). Entre les classes, une forte différence significative existe entre les parcelles de la classe 3, conduite en AB, et celle des deux autres classes (Figure 17a). En effet, la biomasse sèche du maïs popcorn est en moyenne de $569 \pm 360 \text{ g MS.m}^{-2}$, soit $5,7 \text{ t MS.ha}^{-1}$ dans cette classe contre $1117 \pm 360 \text{ g MS.m}^{-2}$ ($11,2 \text{ t MS.ha}^{-1}$) et $1251 \pm 216 \text{ g MS.m}^{-2}$ ($12,5 \text{ t MS.ha}^{-1}$) en moyenne dans la classe 1 et 2 respectivement. Entre ces deux classes aucune différence significative est observée (Figure 17a). A l'intérieur des classes, une forte variabilité des biomasses sèches est présente pour la classe 1 et 3 (Figure 17b). Par exemple pour la classe 3, l'agriculteur 17 a une biomasse de significativement plus importante que celle des deux autres agriculteurs de cette classe et similaire aux agriculteurs en « conventionnel » (Figure 17b). Aucune différence significative n'a été observée entre la biomasse du maïs dans la parcelle en ACS et celles en agriculture « conventionnelle » ($p < 0,05$) étant de $1403 \pm 385 \text{ g MS.m}^{-2}$ et de $1138,22 \pm 290 \text{ g MS.m}^{-2}$ respectivement. La variété ($p = 0.15$), pour les agriculteurs en « conventionnel », et le nombre de jour entre le semis du maïs et le prélèvement de sa biomasse ($p = 0.23$) semblent ne pas impacter les différences de biomasse. Concernant le peuplement de maïs popcorn, les densités mesurées diffèrent entre les classes ($p < 0,001$). Comme pour les biomasses, les parcelles de la classe 3 ont une densité significativement plus faible de 31%, au seuil alpha 5%, que celles des classes 1 et 2 malgré une densité de semis plus élevée de 17%.

Ensuite, les biomasses des communautés adventices diffèrent entre les parcelles, entre les classes et l'orientation des SDC ($p < 0.001$). Les communautés sont plus abondantes dans les parcelles de la classe 3, ayant une biomasse moyenne de $193 \pm 189 \text{ g MS.m}^{-2}$, que dans celles des classes 1 et 2 ayant des biomasses moyennes de $5 \pm 14 \text{ g MS.m}^{-2}$ et $1 \pm 2 \text{ g MS.m}^{-2}$ respectivement. Entre les agriculteurs de la classe 3, aucune différence significative n'est observée. A l'intérieur de la classe 1, l'agriculteur 13, en ACS, a une biomasse adventice significativement plus importante au seuil alpha 5% : en moyenne de $39 \pm 22 \text{ g MS.m}^{-2}$ contre $1 \pm 3 \text{ g MS.m}^{-2}$ pour les autres parcelles de cette classe. Les agriculteurs de la classe 2 et ceux de la classe 1, en excluant l'agriculteur 13, ont une biomasse adventice inférieure à 2 g MS.m^{-2} . Les biomasses des communautés adventices sont plus élevées dans la parcelles en ACS, de l'agriculteur 13, ($p = 0,006$) et en AB ($p < 0,001$) qu'en agriculture « conventionnelle » où elle est de $1 \pm 3 \text{ g MS.m}^{-2}$ en moyenne. Entre les parcelles en ACS et en AB, aucune différence significative n'est observée, associée à une forte variabilité dans les résultats de biomasses dans chaque parcelle ($p = 0,557$).

Enfin, la biomasse du maïs popcorn n'est pas corrélée à la biomasse de la communauté adventice présente dans la station lorsque la classe de typologie des SDC Popcorn est prise en compte dans le modèle ($p = 0,31$). La classe de SDC Popcorn est donc un facteur plus important et des effets confondus entre les variables peuvent être observées comme avec les parcelles de la classe 3.

4.2. Composition et diversité des communautés adventices

Comme pour le suivi aux stades 8-12 feuilles du maïs, les parcelles de la classe 3 se distinguent des parcelles des classes 1 et 2 sur la composition de leur communauté adventice. Cette distinction s'effectue sur la dimension 1 qui est corrélée positivement à la richesse spécifique ($p < 0,001$, $r = 0,86$) et à de nombreuses espèces d'avertices comme *D. stramonium* ($p < 0,001$, $r = 0,76$) (Figure 18). Dans cette classe, une forte variabilité est également présente où une communauté adventice type peut être observée pour chaque agriculteur. Néanmoins, comparé au stade 8-12 feuilles, l'agriculteur 12 a une position plus extrême sur la dimension 1 où *D. stramonium*, *X. strumarium* ou encore des espèces du genre crépis sont observées plus fréquemment (Figure 18b). Pour les deux autres classes, une forte variabilité de composition des communautés adventices observées

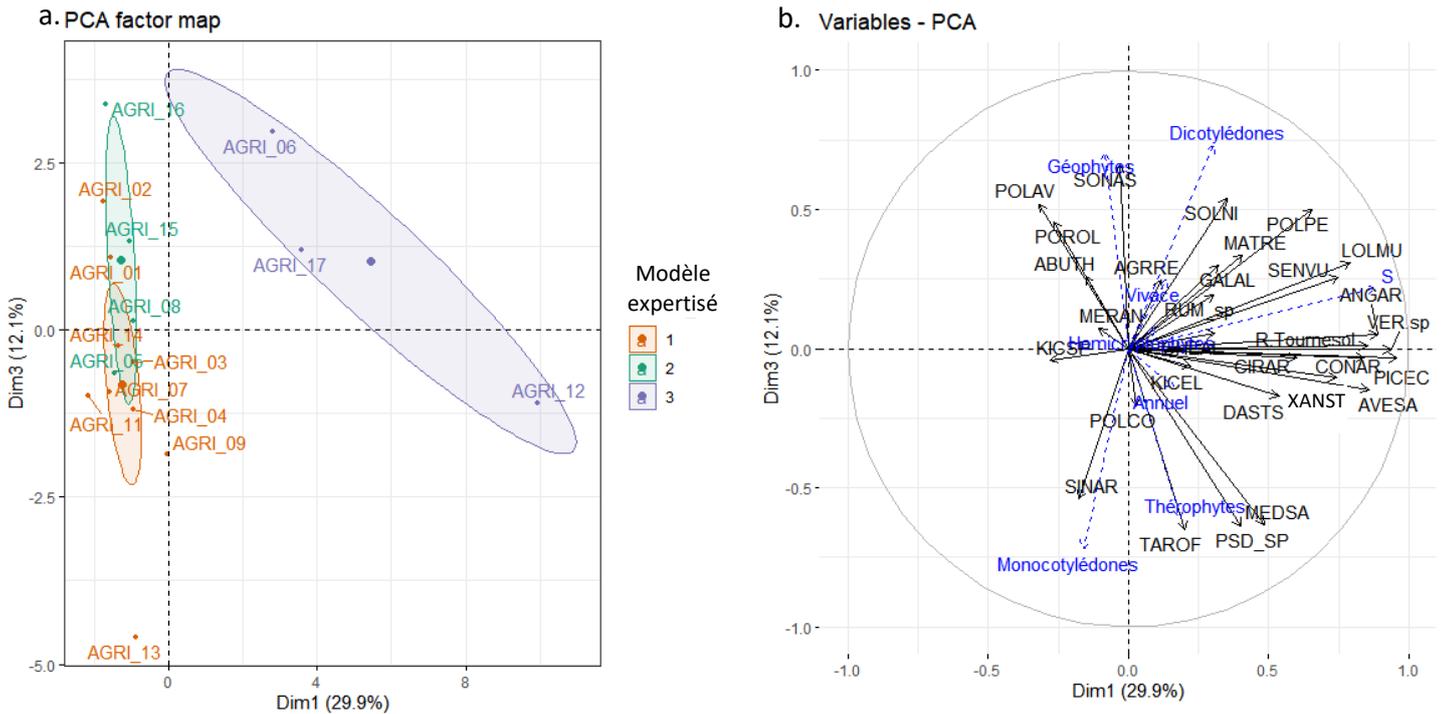


Figure 16 : ACP des compositions des communautés adventices observées dans chaque parcelle
 A gauche : le graphique des individus représentés selon leur classe du modèle expertisé (a.). A droite : le graphique des variables actives (en noir) et supplémentaires (en bleu) (b.). Le nom scientifique des espèces est synthétisé par le code EPPO. Les correspondances sont disponibles en annexe 4.

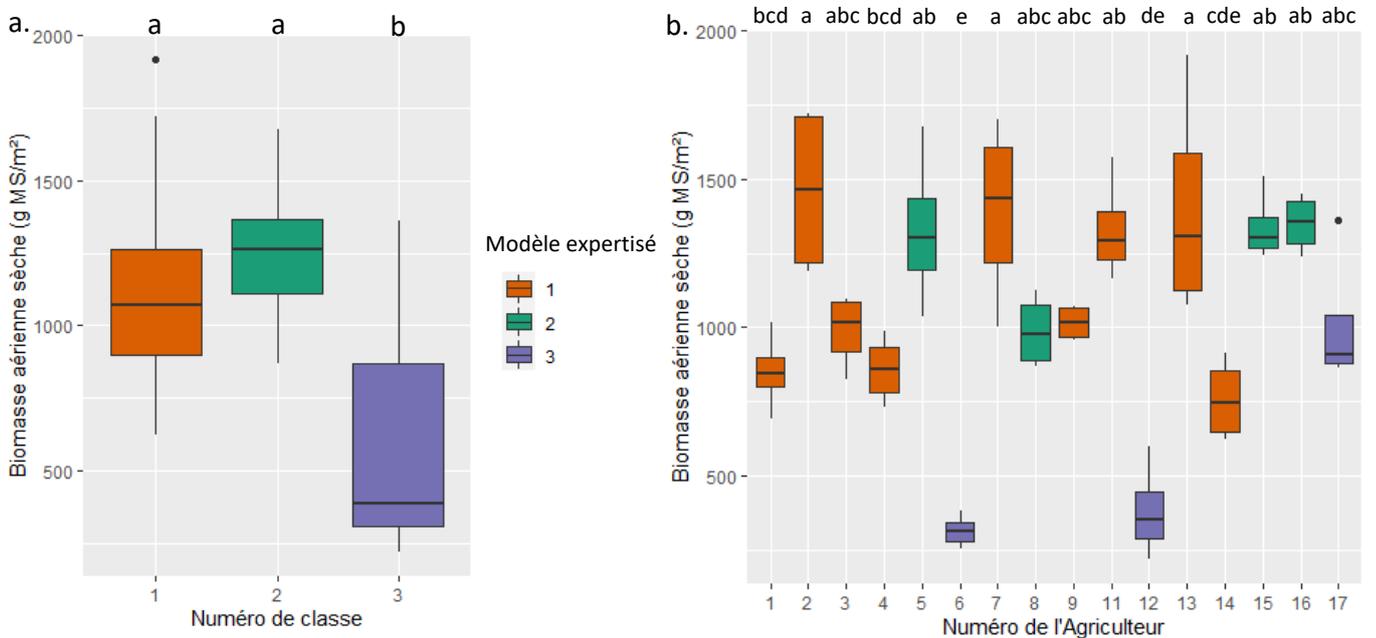


Figure 17 : Boxplots décrivant les biomasses aériennes sèches du maïs popcorn selon la classe de SDC Popcorn (a.) et l'agriculteur (b.). Les lettres au-dessus de chaque modalité indiquent les différences significatives du test post-hoc entre chaque modalité au seuil d'erreur alpha 5%.

est également présente sur la dimension 2 (Figure 18a) qui semble être corrélée positivement à l'abondance d'espèces géophytes comme *C. sepium* ($r=0,54$) et des monocotylédones comme celle du genre *Seteria sp* ($r=0,70$) et négativement à la fréquence d'observation d'espèces hémicryptophytes ($r=-0,41$) (Figure 18b). Aucune différence ne peut être faite entre ces deux classes car leur barycentre sont très proches (Figure 18a). Ici, l'orientation des SDC permet de mieux comprendre l'impact de ces derniers sur la composition des communautés. Après classification des parcelles selon la composition des communautés, 4 groupes ont pu être établis dont le premier regroupant les parcelles en agriculture « conventionnelle » (Figure 19). La parcelle en ACS est placée dans le groupe 2 car sa communauté est plus fréquemment composée d'espèces du genre *Digitaria sp* ($p=0,021$) et de *Taraxacum officinale* (pissenlit officinale) ($p<0,001$) observées dans 100% et 75% des stations de cette parcelle contre moins de 25% des stations des autres parcelles du réseau. Enfin, les groupes 3, 4 et 5 sont composés respectivement des agriculteurs 6, 17 et 12 étant en AB démontrant que dans chacune des parcelles en AB une communauté type est observée (Figure 19). Le contexte pédoclimatique a un impact plus faible sur la composition des communautés adventices que le type de SDC Popcorn dans l'ACP (Figure 18) où le coefficient de corrélation du contexte pédoclimatique est de 0,18 contre 0,71 pour le type de SDC Popcorn sur la dimension 1. Comme précédemment, cet impact est tiré par l'agriculteur en ACS et ceux en AB.

E crus-galli est plus fréquemment observé, dans 92% des stations contre dans 78% en moyenne dans le réseau hors AB ($p=0,022$) dans les parcelles de la classe 1. Dans celles-ci, les espèces monocotylédones ($p=0,024$) et annuelles ($p=0,038$) sont en proportion plus abondantes dans les communautés observées. Cette classe est notamment caractérisée par une somme des PPC du précédent et du maïs popcorn plus faible. En effet, en excluant les parcelles de la classe 3, une corrélation négative est observée entre cette PPC et l'abondance des monocotylédones du genre panic, sétaire et digitale ($p=0,033$, $\tau=-0,47$). Enfin, la richesse spécifique et la diversité des communautés diffèrent significativement selon la classe de SDC Popcorn mis en place par l'agriculteur ($p<0,001$). En effet, les communautés adventices observées sur les parcelles de la classe 3, utilisant un plus grand nombre de leviers de gestion des adventices, ont une richesse spécifique significativement plus importante au seuil alpha 5% : en moyenne 17 espèces ont été observées contre 7 et 5 sur les parcelles de la classe 1 et 2 respectivement. Ces observations sont également visibles dans les courbes aire-espèce (Figure 20). De plus, la richesse spécifique est corrélée positivement à la diversité des leviers de gestion des adventices utilisés dans le SDC ($p=0,001$, $R^2=0,49$). Sur les parcelles de la classe 3, les communautés adventices sont également plus diversifiées. Les indices de Shannon et d'équitabilité de Piérou y sont significativement plus importants ($p<0,001$) Dans la classe 3, l'indice de Shannon et d'équitabilité sont respectivement de $0,80 \pm 0,25$ et $0,53 \pm 0,13$ contre $0,12 \pm 0,23$ et de $0,14 \pm 0,26$ pour les classes 1 et 2 regroupées. Enfin, Aucun impact significatif du contexte pédologique sur la richesse spécifique ($p=0,296$), l'indice de diversité de Shannon ($p=0,659$) et d'équitabilité ($p=0,357$) n'a pu être observé.

4.3. Présence, abondance et fréquence d'observation de *D. stramonium* et de *S. nigrum*

D. stramonium a été observé dans 4 parcelles sur les 16 suivies. L'écartement de semis semble influencer les différences observées en termes de présence/absence ($p=0,033$) et d'abondance ($p=0,001$) de *D. stramonium*. En effet, Les parcelles où l'écartement de semis est de 80 cm semble être plus à risque pour *D. stramonium*. L'abondance moyenne a été mesurée à 2 ± 4 pieds par station de $36m^2$ dans les parcelles semées à 80cm contre $0,2 \pm 0,6$ pieds pour celles semées à 60 cm ($p=0,005$). Ensuite, les parcelles en AB semblent être également plus à risque pour *D. stramonium* que celle où des intrants de synthèse sont utilisés. En effet, les différences de fréquences d'observations sont expliquées par le mode de production ($p=0,010$) et dans une moindre mesure par la classe de SDC popcorn mis en place par l'agriculteur ($p=0,032$). En effet, *D. stramonium* a été plus fréquemment observé dans les parcelles en AB, où il a été observé dans

34% des stations, comparée aux autres parcelles où il a été observé dans 4 % des stations ($p=0,013$). Plus fréquente que *D. stramonium*, *S. nigrum* a pu être observée dans 10 des 16 parcelles suivies. Cette espèce, également toxique, était plus abondante dans les parcelles de la classe 3, conduites en AB, que dans celles des classes 1 ($p=0,011$) et 2 ($p=0,016$) où aucun individu de cette espèce n'a été prélevé dans les quadrats.

IV. Discussions

1. Relations entre le contexte pédologique, le SDC et les adventices

Deux grands contextes pédologiques ont pu être identifiés par l'HCPC réalisée sur les résultats des analyses de sol (Figure 14, Tableau 5). Dans 4 parcelles sur les 16 suivies, le sol présente une texture limoneuse à sableuse avec une teneur en sable plus importante et en argile plus faible. Le taux de matières organiques y est plus faible et le pH légèrement plus acide. Ce contexte pédologique est caractéristique des sols appelés boubènes présents dans le Tarn et le Tarn-et-Garonne où sont situés les parcelles (Longueval et al., 1995). Ensuite, les autres parcelles suivies ont un sol ayant une texture limono-argileuse à argileuse avec une teneur en argile et en calcium plus importante. Ce contexte pédologique est caractéristique des sols argileux à argilo-calcaire largement présent dans le Gers où sont situées 10 parcelles sur les 12 ayant ce contexte pédologique (Longueval et al., 1995).

Sur 3 des 4 parcelles ayant un sol boubène, le SDC Popcorn mis en place par l'agriculteur appartient à la classe 2 de la typologie des SDC où, notamment, la culture du maïs sera plus fréquente dans la rotation. De même, sur 11 des 12 parcelles ayant un sol argilo-calcaire, le SDC Popcorn mis en place appartient à la classe 3 conduite en AB ou à la classe 1 notamment caractérisée par une rotation courte de 2 à 3 ans avec une alternance entre les cultures d'hiver et d'été plus importante. Seul l'agriculteur 13 ayant un sol de type boubène est situé dans la classe 1. De même, l'agriculteur 8 ayant un sol de type argilo-calcaire est placé dans la classe 2 car il pratique la monoculture de maïs. Le contexte pédoclimatique semble influencer significativement le choix du type de SDC, associé à la gestion de l'eau et à son accès. En effet, les sols boubènes sont notamment hydromorphe (Longueval et al., 1995). La mise en place de cultures d'hiver, comme le blé, l'orge ou le colza, sera plus difficile à cause de leur sensibilité à l'hydromorphie (Baillet, 2019; Bouas et al., 2020). A l'opposé, les sols argilo-calcaire sont plus drainants (Longueval et al., 1995). La mise en place de rotation, type céréale-maïs, sera donc plus aisée. Cela correspond aux résultats d'Aouadi et al. (2015) montrant que les SDC étudiés étaient notamment influencés par les propriétés du sol comme la texture et la réserve utile.

Enfin, le contexte pédologique, synthétisant l'ensemble des propriétés mesurées, a un impact plus faible sur la composition des communautés adventices que le type de SDC Popcorn du fait d'une corrélation plus faible du contexte pédologique aux premières dimensions des ACP de la composition des communautés. La richesse et la diversité des communautés ne sont également pas influencées significativement par le contexte pédologique. La zone géographique restreinte du suivi peut expliquer ce phénomène car Fried et al. (2008) ont observé un impact des propriétés du sol, notamment du pH et de la texture, sur la composition et la diversité des communautés adventices à l'échelle de la France. De plus, l'impact du contexte pédologique a été analysé de manière globale sans analyses variable par variable. Les prochaines années du suivi, apportant plus de données et des variables pédologiques supplémentaires, permettront ce type d'analyse pour mieux quantifier l'impact du contexte pédologique avec des outils statistiques plus performants.

2. Evaluation a posteriori de la qualité du modèle expertisé

Le modèle expertisé a permis de révéler trois groupes d'agriculteurs ayant des SDC se contrastant majoritairement sur le type et la diversité de la rotation et des leviers de gestion des adventices utilisées, l'intensité du travail du sol, la fréquence d'implantation de CI, l'utilisation des herbicides

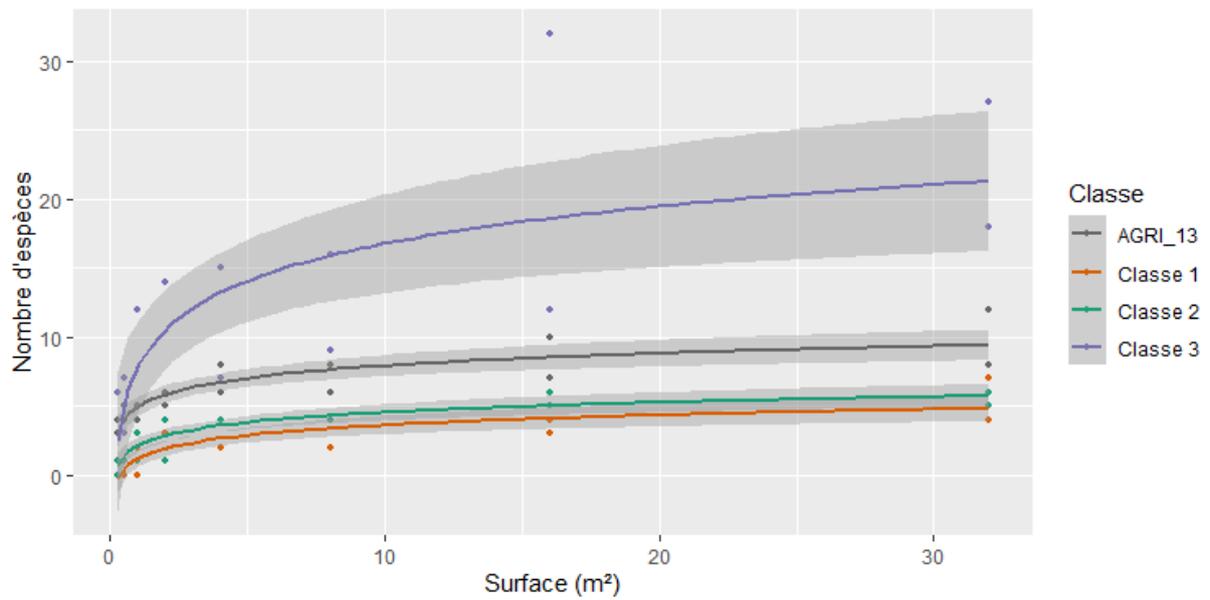


Figure 20 : Courbes aires-espèces des parcelles les plus représentatives de chaque classe de SDC Popcorn et celle en ACS.

et la fertilisation azotée à l'échelle de la rotation, du précédent et du maïs popcorn 2020. Yvoz et al. (2020) ont conduit le même type de typologie mais plutôt sur des SDC du centre de la France en utilisant uniquement des variables quantitatives. Ils ont obtenu une distinction des SDC selon des caractéristiques similaires au nôtre : diversité des cultures, intensité de travail du sol et utilisation des engrais et des produits phytosanitaires.

Cependant, le modèle expertisé présente une variabilité importante lorsque les différentes classes sont confrontées aux données d'abondances et de compositions des communautés adventices issues du terrain (Figure 15, 16, 18). Premièrement, dans 12 parcelles sur 16, l'abondance des communautés étaient très faibles : comprise entre 0 et 3 g MS.m⁻². Notre démarche statistique manque donc de puissance. Deuxièmement, malgré la bonne distinction des SDC Popcorn en AB par la classe 3, la distinction du SDC en ACS (agriculteur 13) des autres est quasi inexistante alors que la communauté adventice observée dans sa parcelle se distingue des autres en termes d'abondance et de composition. La rotation et la fréquence de culture du maïs est plus discriminante dans la typologie (Figure 11 et 12). En effet, cet agriculteur est associé à la classe 1 car il met en place une rotation de type céréale-maïs-soja. Or, cette classe regroupe la quasi-totalité des SDC mis en place sur un sol argilo-calcaire alors que l'agriculteur 13 a un sol boulbène. Les agriculteurs ayant un sol argilo-calcaire implantent majoritairement leur maïs en TCSL et leurs céréales après un travail du sol superficiel (<5cm) alors que l'agriculteur sème son maïs après un passage de strip-till, son soja en SD mais sa céréale comme les autres agriculteurs de la classe 1.

Néanmoins, si le SDC de l'agriculteur 13 est comparé à ceux mis en place dans le même contexte pédoclimatique, ce SDC peut être considéré en ACS car l'intensité du travail du sol est sensiblement plus faible, la rotation est plus diversifiée ou équilibrée et l'implantation de CI est plus importante selon les cas. Considérer les SDC par rapport à un SDC de référence comme Yvoz et al. (2020) peut être une piste d'amélioration de la typologie des SDC Popcorn en considérant le SDC de référence comme le SDC moyen rencontré dans chaque contexte pédoclimatique. Une piste supplémentaire est de calculer la PPC sur toute la rotation et la rapporter à la longueur de la rotation. Cela n'a pas été possible car il était parfois compliqué d'obtenir tout le détail du travail du sol réalisé habituellement pour chaque culture de la rotation lors des entretiens.

Enfin, lors de la prochaine campagne, des parcelles supplémentaires seront ajoutées afin d'avoir un meilleur gradient de pression adventices et plus de SDC notamment en ACS et également en AB où une forte variabilité des compositions des communautés a été observée. La typologie pourra être affinée et la pertinence de la méthode utilisée pour concevoir le modèle statistique pourra alors être testée (Annexe 3).

3. Pertinence du protocole de suivi des communautés adventices et du *D. stramonium*

L'étude des courbes aires-espèces réalisées sur les parcelles les plus représentatives de chaque classe de SDC Popcorn montre que le changement d'échelle réalisé dans le protocole est pertinent pour avoir une image plus complète de la composition des communautés adventices (Figure 20). Une faible part des espèces totales observées dans les stations est observée dans les quadrats : environ 10% dans les parcelles des classes 1 et 2, 22% pour la parcelle en ACS et 30% pour les celles de la classe 3. Les espèces observées dans les quadrats sont les espèces les plus fréquemment observées dans les stations pour le suivi à floraison ($p < 0,001$) et les espèces les plus abondantes pour le suivi au stade 8-12 feuilles ($p < 0,001$). De plus, les communautés adventices des parcelles observées dans les classes 1 et 2 et celle en ACS semble se stabiliser à partir de 16m² (Figure 20). Dans les parcelles de la classe 3 en AB, les communautés ne semblent pas être totalement stabilisées à 36m². Néanmoins, des stations de cette surface semblent être un bon compromis entre la représentativité des communautés et le temps nécessaire aux mesures sur les parcelles.

Ensuite, la perte d'informations induite par les mesures réalisées dans les quadrats met en

question la pertinence de calculer des indicateurs de diversité à l'échelle des quadrats dans notre étude car ils sont calculés sur les espèces les plus abondantes et/ou fréquentes. Comme pour la composition et la richesse des communautés, il serait plus pertinent de calculer ces indicateurs à l'échelle de la station. Pour cela, la méthode « Barralis » utilisée au stade 8-12 feuilles pourrait être généralisée afin d'estimer l'abondance de chaque espèce à cette échelle. Néanmoins, les mesures d'abondances, notamment de biomasse, à l'échelle du quadrat restent essentielles car elles permettent notamment de quantifier les compétitions entre le maïs et les adventices (Hanzlik et Gerowitt, 2016).

Les adventices étant généralement réparties sous forme de tâches dans les parcelles agricoles (Shaw, 2005), la détection d'une espèce particulière comme *D. stramonium* peut s'avérer compliqué surtout dans notre cas où seulement entre 0,05% à 0,22% de la surface des parcelles ont été observées. Néanmoins, les conseils des agriculteurs et les observations réalisées à l'échelle des stations ont permis de quantifier la présence et l'abondance de *D. stramonium* dans certaines parcelles. Un deuxième changement d'échelle est prévu dans le suivi en utilisant les cartes de proxi-détection du *D. stramonium* réalisées sur l'ensemble des parcelles sous contrat avec Nataïs par la société Telespazio. Plusieurs études démontrent la capacité de la proxi-détection associée au deep-learnig à détecter les adventices et les espèces invasives en parcelle agricole de manière précise et répétable (e.g. Bah et al., 2019; Lozano et al., 2020). Enfin, associer mesures de l'abondance et de la composition des communautés adventices à l'échelle de la station et utilisation de la proxi-détection du *D. stramonium* à l'échelle de la parcelle est une piste pertinente pour réaliser le suivi sur un plus grand nombre de parcelles en réalisant les mesures de biomasse maïs et adventices à l'échelle du quadrat sur un échantillon de parcelles représentatives de chaque type de SDC Popcorn présent.

4. Efficacité de gestion des communautés adventices et de *D. stramonium* par les SDC suivis

L'orientation AB-ACS-« conventionnelle » semble influencer la gestion des communautés adventices. Une distinction significative a pu être observée entre les SDC Popcorn en AB ou en ACS des autres SDC utilisant à la fois des leviers de gestion des adventices mobilisant les herbicides et le travail du sol. Cette distinction s'effectue au niveau de l'abondance et de la composition des communautés (Figure 16 et 18). Il existe également une distinction significative entre les SDC Popcorn en AB des autres SDC pour la richesse et la diversité des communautés où une corrélation positive entre diversité de leviers de gestion des adventices et richesse spécifique a pu être démontrée. L'orientation des SDC Popcorn semble être un modèle de typologie plus performant que le modèle expertisé pour expliquer les différences d'abondances des communautés adventices. Néanmoins, le modèle expertisé, caractérisant efficacement les SDC suivis, et plus encore le modèle statistique semblent apporter une image plus fine de la composition des communautés selon les classes de SDC (Annexe 3). Il sera nécessaire de confirmer cela lors de la suite du suivi car cette affirmation manque de puissance statistique.

Pour les SDC de la classe 3 conduits en AB, nos résultats vont dans le même sens que ceux des travaux de différents auteurs étudiés dans l'étude bibliographique démontrant que les communautés adventices étaient plus abondantes, riches et diversifiées en AB. De plus, une forte variabilité a pu être observée dans la classe 3 en termes d'abondance et de composition des communautés (Figure 18) tout comme Herzog et al. (2019) qui lient notamment ce phénomène aux différentes stratégies de gestion des adventices chez les agriculteurs. Dans notre réseau, les 3 agriculteurs en AB avaient chacun un SDC Popcorn bien distinct notamment au niveau des rotations malgré une même stratégie de désherbage.

Sur la parcelle en ACS, la communauté adventice était plus abondante que dans les autres parcelles conduites en « conventionnel ». Cette communauté se distinguait également par une présence plus importante de monocotylédones annuelles et estivales des genres sétaires,

digitaires et panics. Ces observations vont dans le même sens que les études de Adeux et *al.* (2017) et de Teasdale et *al.* (2007). A l'inverse d'Adeux et *al.* (2017) mais comme Teasdale et *al.* (2007), la plus forte abondance des adventices dans la parcelle en ACS de l'agriculteur 13 n'a pas d'impact sur la performance du maïs. Cette observation devra être vérifiée à la maturité du maïs popcorn. Nos résultats montrent une bonne gestion des communautés adventices dans la majorité des parcelles correspondant aux objectifs de désherbage des agriculteurs et leur vision des adventices. En effet, les agriculteurs en « conventionnel » sont majoritairement caractérisés par un objectif de « zéro adventice » et une vision négative de ces derniers *a contrario* de l'agriculteur en ACS souhaitant aucun adventice nuisible pour la récolte et la qualité du popcorn et tolérant les adventices. Les agriculteurs en AB ont pour objectif d'avoir un minimum d'adventices. Cependant, l'ensemble de ces résultats sont à confirmer sur un nombre plus conséquent de parcelles, avec un meilleur gradient de pression adventice, dans la suite du projet tout comme les relations entre caractéristiques des communautés adventices et les performances du maïs popcorn en prenant notamment en compte les objectifs de désherbage et la vision des adventices des agriculteurs.

Enfin, *D. stramonium* semble être plus abondant sur les parcelles où l'écartement des rangs de maïs est de 80 cm comparé à celles où il est de 60 cm. Cette espèce germe après une exposition à la lumière (Infloweb, 2020). Le sol pourrait être donc plus exposé à la lumière lorsque l'écartement de semis est de 80 cm comparé à un écartement de 60 cm, hors présence d'un mulch, pouvant expliquer ainsi la plus forte abondance de *D. stramonium*. Néanmoins, la lumière, stimulant la germination de cette espèce, pénètre sur moins d'un centimètre (Benvenuti, 1995). Le travail du sol en journée participe également à l'exposition des graines d'adventices à la lumière en facilitant sa pénétration dans le sol (Scopel et *al.*, 1994). *D. stramonium* était également plus fréquemment observé dans les parcelles en AB que celles conduites en « conventionnel ». Cependant, ces résultats sont issus d'un échantillon assez faible. Ils devront donc être validés par la suite du suivi et par des essais factoriels pour comprendre l'effet de chaque composante sur *D. stramonium*. De plus, une confusion d'effets semble exister entre gestion efficace ou non de cette espèce par les SDC et la présence ou l'absence de graines de *D. stramonium* dans les parcelles car cette espèce invasive n'est observée que récemment, depuis les années 70, en comparaison aux autres espèces adventices. De cette confusion d'effet, un cadre de reconception des SDC peut être créé pour améliorer ou anticiper la gestion de *D. stramonium* en maïs popcorn afin d'orienter les objectifs et la reconception en fonction de l'état de la parcelle (Figure 21). En l'absence d'une population de *D. stramonium* établie, l'objectif est d'empêcher l'import de graines et l'établissement d'une population dans la parcelle. A l'inverse, en présence d'une population de *D. stramonium*, l'objectif est de réduire l'abondance et la production de graines pour éradiquer sur le long terme cette espèce.

5. Conclusion

L'ensemble du SDC peut être repensé afin de passer d'une gestion des communautés adventices recourant essentiellement aux herbicides et/ou au travail du sol à une gestion écologiquement intensive en diversifiant les leviers de gestion. Différentes combinaisons de leviers devront être mises en place en fonction des caractéristiques de la communauté adventice présente dans chaque parcelle. Néanmoins, avant cette étape de reconception, il convient de bien caractériser les SDC actuels et d'évaluer leur efficacité de gestion des communautés adventices afin d'orienter efficacement la reconception. Ce sont les objectifs de notre étude sur les SDC en maïs popcorn menée dans le cadre du suivi des communautés adventices et de *D. stramonium* de 5 ans du Projet Naturellement Popcorn.

Une typologie des SDC a été réalisée permettant de distinguer trois grands types de SDC en fonction notamment de la diversité de la rotation et la gestion des adventices. Lors de la première année du suivi, de fortes distinctions des communautés adventices ont pu être observées, en

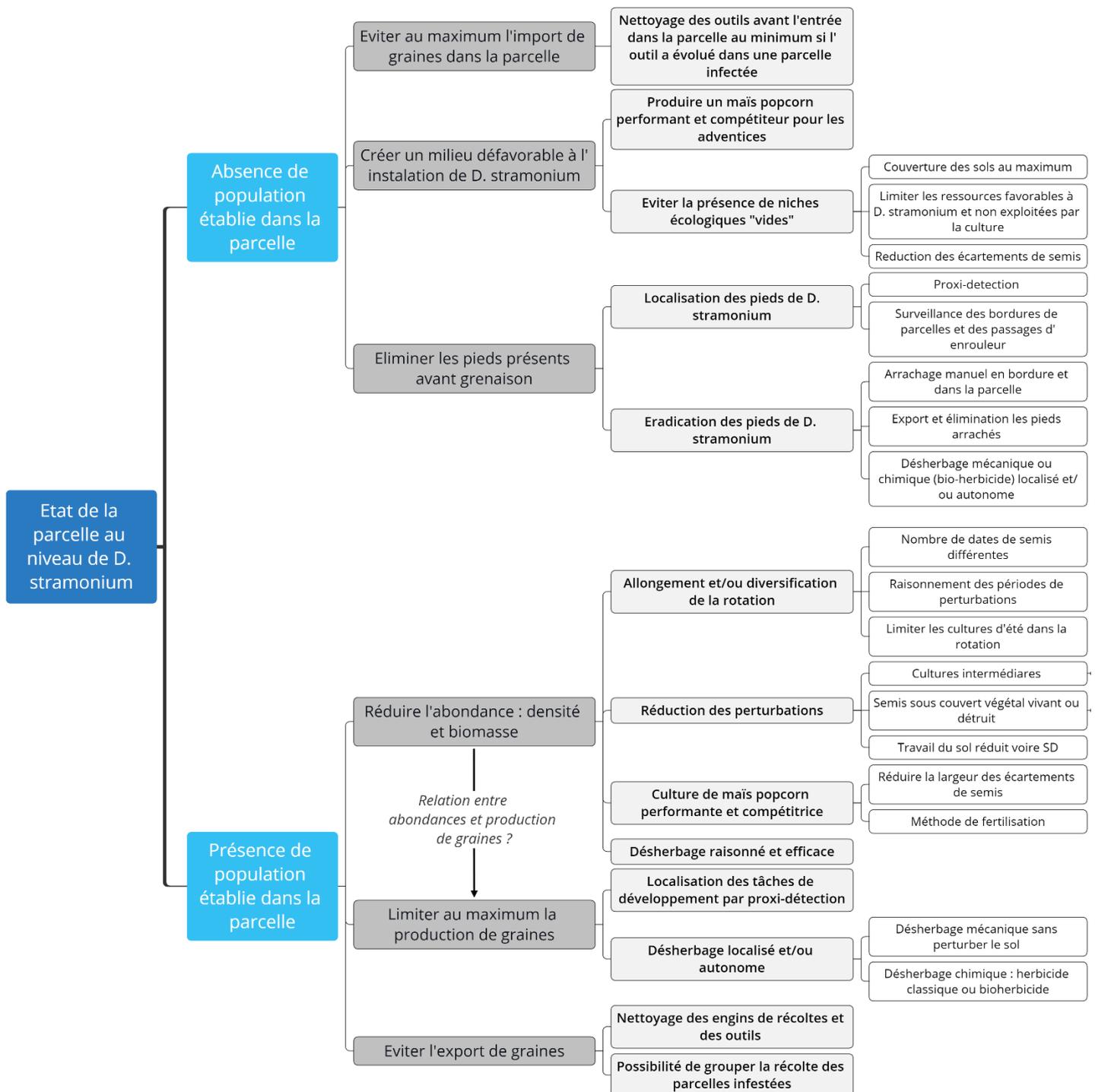


Figure 21 : Cadre de reconception des SDC Popcorn selon la présence ou l'absence de population établie. Les éléments sont issus de l'étude bibliographique et de Fried (2018). Ils sont à vérifiés sur le terrain par des essais factorielles et la suite du suivi.

termes de composition, d'abondance et de diversité, entre les SDC en AB, en ACS et en agriculture « conventionnelle ». Les SDC en AB utilisant un plus grand nombre de leviers de gestion des adventices ont des communautés adventices plus diversifiées mais également plus abondantes et un maïs popcorn moins performant. Sur la parcelle en ACS, la communauté était plus abondante et plus largement composée de monocotylédones estivales que sur les parcelles conduites en « conventionnel » sans impacter la performance du maïs popcorn. Une très bonne gestion des adventices dans les parcelles conduites en agriculture « conventionnelle » a pu être observée. L'orientation AB-ACS-« conventionnelle » des SDC permet de mieux expliquer les différences d'abondance, de composition et de diversité des communautés adventices entre les parcelles que notre typologie notamment expliqué par à une très faible abondance des communautés adventices en agriculture « conventionnelle ». Cette dernière utilisant simultanément des variables qualitatives et quantitatives devra être améliorée notamment en prenant mieux en compte l'impact du contexte pédologique sur le SDC et faire ressortir les SDC en ACS.

Un focus sur la gestion de *D. stramonium* par les SDC suivis a également été réalisé afin d'identifier les SDC et les filtres environnementaux et agricoles favorisant cette espèce toxique impactant la qualité du popcorn. Lors de la première année du suivi, les SDC en AB semblent être plus à risque car *D. stramonium* était plus fréquemment observé dans les parcelles conduites en AB. De même cette espèce était plus abondante dans les parcelles où l'écartement de semis était de 80 cm. Ces observations devront être confirmées et étoffées lors des prochaines années du suivi afin de mieux quantifier l'efficacité de gestion de *D. stramonium* par les SDC Popcorn encore très peu étudiée dans la littérature.

Néanmoins, une confusion d'effet entre gestion efficace ou non par les SDC et présence ou absence de *D. stramonium* dans les parcelles suivies nuance nos résultats. Un cadre de reconception des SDC selon la présence ou non de *D. stramonium* dans la communauté adventice a pu être créé en mobilisant les éléments issus de la littérature et de nos résultats. Dans cette reconception, l'évolution des communautés adventices devra être suivie afin d'éviter de favoriser une ou plusieurs espèces nuisibles. Les attentes de l'ensemble des acteurs et notamment des agriculteurs devront également être intégrées dans ce cadre de reconception afin que cette dernière soit efficace. Les autres enjeux agricoles devront également être pris en compte afin notamment de concilier par exemple gestion des adventices et qualité des sols, autre enjeu majeur du projet Naturellement Popcorn. Les agriculteurs partagent également ce souhait communiqué pendant les entretiens : pouvoir continuer à gérer efficacement les communautés adventices tout en garantissant la rentabilité de leur activité et en répondant aux enjeux actuels et futurs liés à la qualité des sols.

Bibliographie

- Adeux, G., Giuliano, S., Cordeau, S., Savoie, J.-M., Alletto, L., 2017. Low-Input Maize-Based Cropping Systems Implementing IWM Match Conventional Maize Monoculture Productivity and Weed Control. *Agriculture* 7, 74. <https://doi.org/10.3390/agriculture7090074>
- Adeux, G., Munier-Jolain, N., Meunier, D., Farcy, P., Carlesi, S., Barberi, P., Cordeau, S., 2019a. Diversified grain-based cropping systems provide long-term weed control while limiting herbicide use and yield losses. *Agronomy for Sustainable Development* 39. <https://doi.org/10.1007/s13593-019-0587-x>
- Adeux, G., Vieren, E., Carlesi, S., Barberi, P., Munier-Jolain, N., Cordeau, S., 2019b. Mitigating crop yield losses through weed diversity. *Nature Sustainability* 2, 1018–1026. <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0415-y>
- Adjuvants Partenaires des actions foliaires [WWW Document], n.d. . Terre-net. URL <https://www.terre-net.fr/observatoire-technique-culturale/appros-phytosanitaire/article/partenaires-des-actions-foliaires-216-100242.html> (accessed 3.26.20).
- Agrete Midi-Pyrénées, 2015. @groscope les pratiques culturales du maïs en 2011.
- Anderson, R.L., 2008. Residue Management Tactics for Corn Following Spring Wheat. *Weed Technology* 22, 177–181. <https://doi.org/10.1614/WT-07-112.1>
- Anderson, R.L., 2000. Cultural Systems to Aid Weed Management in Semiarid Corn (*Zea mays*) ¹. *Weed Technology* 14, 630–634. [https://doi.org/10.1614/0890-037X\(2000\)014\[0630:CSTAWM\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1614/0890-037X(2000)014[0630:CSTAWM]2.0.CO;2)

Aouadi, N., Aubertot, J.N., Caneill, J., Munier-Jolain, N., 2015. Analyzing the impact of the farming context and environmental factors on cropping systems: A regional case study in Burgundy. *European Journal of Agronomy* 66, 21–29. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2015.02.006>

Armengot, L., Sans, F.X., Fischer, C., Flohre, A., José-María, L., Tscharntke, T., Thies, C., 2012. The β -diversity of arable weed communities on organic and conventional cereal farms in two contrasting regions. *Applied Vegetation Science* 15, 571–579. <https://doi.org/10.1111/j.1654-109X.2012.01190.x>

Bah, M.D., Dericquebourg, E., Hafiane, A., Canals, R., 2019. Deep Learning Based Classification System for Identifying Weeds Using High-Resolution UAV Imagery, in: Arai, K., Kapoor, S., Bhatia, R. (Eds.), *Intelligent Computing, Advances in Intelligent Systems and Computing*. Springer International Publishing, Cham, pp. 176–187. https://doi.org/10.1007/978-3-030-01177-2_13

Baillet, A., 2019. Accidents climatiques sur colza : le manque ou l'excès d'eau [WWW Document]. *Terres Inovia*. URL <https://www.terresinovia.fr/-/accidents-climatiques-sur-colza-manque-ou-exces-d-eau> (accessed 8.12.20).

Bajwa, A.A., 2014. Sustainable weed management in conservation agriculture. *Crop Protection* 65, 105–113. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2014.07.014>

Benvenuti, S., 1995. Soil Light Penetration and Dormancy of Jimsonweed (*Datura stramonium*) Seeds. *Weed Science* 43, 389–393.

Booth, B.D., Swanton, C.J., 2002. Assembly theory applied to weed communities. *Weed Science* 50, 2–13. [https://doi.org/10.1614/0043-1745\(2002\)050\[0002:AIATAT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1614/0043-1745(2002)050[0002:AIATAT]2.0.CO;2)

Bouas, A., DESCHAMPS, E., KILLMAYER, M., VERDIER, J.-L., 2020. Parcelles en excès d'eau : quelles conséquences sur les céréales ? [WWW Document]. Arvalis-infos.fr. URL <https://www.arvalis-infos.fr/exces-d-eau-et-cereales-quels-impacts-sur-les-composantes-de-rendement--@/view-31979-arvarticle.html> (accessed 8.12.20).

Bourgeois, B., Munoz, F., Fried, G., Mahaut, L., Armengot, L., Denelle, P., Storkey, J., Gaba, S., Violle, C., 2019. What makes a weed a weed? A large-scale evaluation of arable weeds through a functional lens. *American Journal of Botany* 106, 90–100. <https://doi.org/10.1002/ajb2.1213>

Brust, J., Weber, J., Gerhards, R., 2014. Do cover crop mixtures have the same ability to suppress weeds as competitive monoculture cover crops? *Julius-Kühn-Archiv, 26th German Conference on weed Biology and Weed Control, March 11-13, 2014, Braunschweig, Germany* 443, 422–430. <https://doi.org/info:doi/10.5073/jka.2014.443.053>

Buhler, D., 1995. Influence of Tillage Systems on Weed Population-Dynamics and Management in Corn and Soybean in the Central Usa. *Crop Sci.* 35, 1247–1258. <https://doi.org/10.2135/cropsci1995.0011183X003500050001x>

Cordeau, S., Chauvel, B., Guillemin, J.-P., 2018. Nuisibilité des plantes adventices : compétition pour les ressources, quantification des pertes de rendement et de qualité des récoltes, in: *Gestion durable de la flore adventice des cultures*. pp. 77–97.

Cordeau, S., Guillemin, J.-P., Reibel, C., Chauvel, B., 2015. Weed species differ in their ability to emerge in no-till systems that include cover crops. *Annals of Applied Biology* 166, 444–455. <https://doi.org/10.1111/aab.12195>

Cordeau, S., Moreau, D., 2017. Gestion des adventices au moyen des cultures intermédiaires multi-services: potentiels et limites 15.

Cordeau, S., Smith, R.G., Gallandt, E.R., Brown, B., Salon, P., DiTommaso, A., Ryan, M.R., 2017. How do weeds differ in their response to the timing of tillage? A study of 61 species across the northeastern United States: Weed response to timing of tillage. *Annals of Applied Biology* 171, 340–352. <https://doi.org/10.1111/aab.12377>

Derksen, D.A., Thomas, A.G., Lafond, G.P., Loepky, H.A., Swanton, C.J., 2006. Impact of post-emergence herbicides on weed community diversity within conservation-tillage systems. *Weed Research* 35, 311–320. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.1995.tb01794.x>

Douglas Boyette, C., Turfitt, L.B., 1988. Factors influencing biocontrol of jimsonweed (*Datura stramonium* L.) with the leaf-spotting fungus *Alternaria crassa*. *Plant Science* 56, 261–264. [https://doi.org/10.1016/0168-9452\(88\)90106-9](https://doi.org/10.1016/0168-9452(88)90106-9)

Ephy-anses, 2020. ephy [WWW Document]. URL <https://ephy.anses.fr/ppp/> (accessed 4.7.20).

Fanfarillo, E., Kasperski, A., Giuliani, A., Abbate, G., 2019. Shifts of arable plant communities after agricultural intensification: a floristic and ecological diachronic analysis in maize fields of Latium (central Italy). *Botany Letters* 166, 356–365. <https://doi.org/10.1080/23818107.2019.1638829>

Fried, G., Chauvel, B., Munoz, F., Reboud, X., 2019. Which Traits Make Weeds More Successful in Maize Crops? Insights from a 3-Decade Monitoring in France (preprint). *BIOLOGY*. <https://doi.org/10.20944/preprints201912.0095.v1>

Fried, G., Chauvel, B., Reboud, X., 2008a. Evolution de la flore adventice des champs cultivés au cours des dernières décennies : vers la sélection de groupes d'espèces répondant aux systèmes de culture. *Innovations Agronomiques* 15–26.

Fried, G., Maillet, J., 2018. Diversité et réponses de la flore des champs cultivés à l'évolution des pratiques agricoles en France, in: *Gestion durable de la flore adventice des cultures*. pp. 39–57.

Fried, G., Norton, L.R., Reboud, X., 2008b. Environmental and management factors determining weed species composition and diversity in France. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 128, 68–76. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2008.05.003>

Fried, G., Petit, S., Reboud, X., 2010. A specialist-generalist classification of the arable flora and its response to changes in agricultural practices. *BMC Ecology* 10, 20. <https://doi.org/10.1186/1472-6785-10-20>

Gaba, S., Perronne, R., Fried, G., Gardarin, A., Bretagnolle, F., Biju-Duval, L., Colbach, N., Cordeau, S., Fernández-Aparicio, M., Gauvrit, C., Gibot-Leclerc, S., Guillemin, J.-P., Moreau, D., Munier-Jolain, N., Strbik, F., Reboud, X., 2017. Response and effect traits of arable weeds in agro-ecosystems: a review of current knowledge. *Weed Research* 57, 123–147. <https://doi.org/10.1111/wre.12245>

Gasquez, J., 2018. Historique de la gestions de la flore adventice, in: *Gestion durable de la flore adventice des cultures*. pp. 19–37.

Gauvrit, C., Dufour, J., 1990. Effects of adjuvants on herbicidal action. II. Effects of a mixture of adjuvants on isoproturon retention and penetration in wheat and ryegrass. *Agronomie* 10, 841–846. <https://doi.org/10.1051/agro:19901007>

GERSYCOOP, 2015. GERSY AGRO Maïs 2015.

Grundy, A.C., Mead, A., Bond, W., Clark, G., Burston, S., 2011. The impact of herbicide management on long-term changes in the diversity and species composition of weed populations: Herbicide management and weed diversity. *Weed Research* 51, 187–200. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.2010.00831.x>

Hanzlik, K., Gerowitt, B., 2016. Methods to conduct and analyse weed surveys in arable farming: a review. *Agronomy for Sustainable Development* 36. <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0345-7>

Hernández Plaza, E., Navarrete, L., González-Andújar, J.L., 2015. Intensity of soil disturbance shapes response trait diversity of weed communities: The long-term effects of different tillage systems. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 207, 101–108. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.03.031>

Herzog, C., Honegger, A., Hegglin, D., Wittwer, R., de Ferron, A., Verbruggen, E., Jeanneret, P., Schloter, M., Banerjee, S., van der Heijden, M.G.A., 2019. Crop yield, weed cover and ecosystem multifunctionality are not affected by the duration of organic management. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 284, 106596. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.106596>

Hill, S.B. (McGill U., MacRae, R.J., 1995. Conceptual framework for the transition from conventional to sustainable agriculture. *Journal of sustainable agriculture (USA)*.

Hiltbrunner, J., Scherrer, C., Streit, B., Jeanneret, P., Zihlmann, U., Tschachtli, R., 2008. Long-term weed community dynamics in Swiss organic and integrated farming systems. *Weed Research* 48, 360–369. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.2008.00639.x>

Hunter, M.C., Smith, R.G., Schipanski, M.E., Atwood, L.W., Mortensen, D.A., 2017. Agriculture in 2050: Recalibrating Targets for Sustainable Intensification. *BioScience* 67, 386–391. <https://doi.org/10.1093/biosci/bix010>

Infloweb, 2020. *Datura stramoine* [WWW Document]. Infloweb.fr. URL <http://www.infloweb.fr/datura-stramoine> (accessed 4.15.20).

INRA, 2000. *HYPPA Accueil* [WWW Document]. URL https://www2.dijon.inrae.fr/hyppa/hyppa-f/hyppa_f.htm (accessed 8.22.20).

Justes, E., Richard, G., 2017. Contexte, concepts et définition des cultures intermédiaires multi-services. *Innovations Agronomiques* 62, 1–15.

Kazakou, E., Jacquemin, F., Navas, M., Violle, C., 2018. Fonctions et services des plantes adventices dans les agroécosystèmes, in: *Gestion durable de la flore adventice des cultures*. pp. 19–37.

Krenzelok, E.P., 2010. Aspects of *Datura* poisoning and treatment. *Clin. Toxicol.* 48, 104–110. <https://doi.org/10.3109/15563651003630672>

Lightle, D.T., sd. Soil Tillage Intensity Rating STIR 6.

Longueval, C., Delaunois, A., Penalver, F., Revel J.C., Balas B., 1995. Les grands ensembles morphopédologiques de la région Midi-Pyrénées.

Lozano, V., Brundu, G., Ghiani, L., Piccirilli, D., Sassu, A., Tiloca, M.T., Ledda, L., Gambella, F., 2020. Detection and Monitoring of Alien Weeds Using Unmanned Aerial Vehicle in Agricultural Systems in Sardinia (Italy), in: Coppola, A., Di Renzo, G.C., Altieri, G., D’Antonio, P. (Eds.), *Innovative Biosystems Engineering for Sustainable Agriculture, Forestry and Food Production, Lecture Notes in Civil Engineering*. Springer International Publishing, Cham, pp. 855–862. https://doi.org/10.1007/978-3-030-39299-4_92

Mafakheri, S., Ardakani, M.R., Meighani, F., Mirhadi, M.J., Vazan, S., 2010. Rye Cover Crop Management Affects Weeds and Yield of Corn (*Zea mays* L.). *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca* 38, 117–123. <https://doi.org/10.15835/nbha3834726>

Mhlanga, B., Chauhan, B.S., Thierfelder, C., 2016. Weed management in maize using crop competition: A review. *Crop Protection* 88, 28–36. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2016.05.008>

Mulugeta, D., Stoltenberg, D.E., Boerboom, C.M., 2001. Weed species–area relationships as influenced by tillage. *Weed Science* 49, 217–223. [https://doi.org/10.1614/0043-1745\(2001\)049\[0217:WSARAI\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1614/0043-1745(2001)049[0217:WSARAI]2.0.CO;2)

Nataïs, 2020. À propos de Nataïs. Nataïs Popcorn. URL <https://www.popcorn.fr/a-propos-de-natais/> (accessed 8.22.20).

Nemecek, T., Huguenin-Elie, O., Dubois, D., Gaillard, G., Schaller, B., Chervet, A., 2011. Life cycle assessment of Swiss farming systems: II. Extensive and intensive production. *Agricultural Systems* 104, 233–245. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2010.07.007>

Oerke, E.-C., 2006. Crop losses to pests. *The Journal of Agricultural Science* 144, 31–43. <https://doi.org/10.1017/S0021859605005708>

Osipitan, O.A., Dille, J.A., Assefa, Y., Radicetti, E., Ayeni, A., Knezevic, S.Z., 2019. Impact of Cover Crop Management on Level of Weed Suppression: A Meta-Analysis. *Crop Science* 59, 833–842. <https://doi.org/10.2135/cropsci2018.09.0589>

Pagès, J., 2004. Analyse factorielle de données mixtes. *Revue de statistique appliquée* 52, 93–111.

Pannacci, E., Tei, F., 2014. Effects of mechanical and chemical methods on weed control, weed seed rain and crop yield in maize, sunflower and soyabean. *Crop Protection* 64, 51–59. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2014.06.001>

Perronne, R., Le Corre, V., Bretagnolle, V., Gaba, S., 2015. Stochastic processes and crop types shape weed community assembly in arable fields. *Journal of Vegetation Science* 26, 348–359. <https://doi.org/10.1111/jvs.12238>

Ryan, M.R., Smith, R.G., Mirsky, S.B., Mortensen, D.A., Seidel, R., 2010. Management Filters and Species Traits: Weed Community Assembly in Long-Term Organic and Conventional Systems. *Weed Science* 58, 265–277. <https://doi.org/10.1614/WS-D-09-00054.1>

Schnerer, A., Melander, B., Kudsk, P., 2016. Vertical distribution and composition of weed seeds within the plough layer after eleven years of contrasting crop rotation and tillage schemes. *Soil and Tillage Research* 161, 135–142. <https://doi.org/10.1016/j.still.2016.04.005>

Scopel, A.L., Ballaré, C.L., Radosevich, S.R., 1994. Photostimulation of Seed Germination During Soil Tillage. *The New Phytologist* 126, 145–152.

Sebillotte, M., 1990. Systeme de culture, un concept operatoire pour les agronomes., in: *Les Systemes de Culture, Un Point Sur ...-INRA*. INRA, pp. 165–196.

Shaw, D.R., 2005. Remote sensing and site-specific weed management. *Frontiers in Ecology and the Environment* 3, 526–532. [https://doi.org/10.1890/1540-9295\(2005\)003\[0526:RSASWM\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1540-9295(2005)003[0526:RSASWM]2.0.CO;2)

Smith, R.G., Gross, K.L., 2006. Weed community and corn yield variability in diverse management systems. *Weed Science* 54, 106–113. <https://doi.org/10.1614/WS-05-108R.1>

Soltani, N., Dille, J.A., Burke, I.C., Everman, W.J., VanGessel, M.J., Davis, V.M., Sikkema, P.H., 2016. Potential Corn Yield Losses from Weeds in North America. *Weed Technology* 30, 979–984. <https://doi.org/10.1614/WT-D-16-00046.1>

Streit, B., Rieger, S.B., Stamp, P., Richner, W., 2002. The effect of tillage intensity and time of herbicide application on weed communities and populations in maize in central Europe. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 92, 211–224. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(01\)00307-3](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(01)00307-3)

Teasdale, J.R., Coffman, C.B., Mangum, R.W., 2007. Potential Long-Term Benefits of No-Tillage and Organic Cropping Systems for Grain Production and Soil Improvement. *Agronomy Journal* 99, 1297–1305. <https://doi.org/10.2134/agronj2006.0362>

Teasdale, J.R., Mirsky, S.B., Cavigelli, M.A., 2019. Weed species and traits associated with organic grain crop rotations in the mid-Atlantic region. *Weed Science* 67, 595–604. <https://doi.org/10.1017/wsc.2019.38>

Tittonell, P., 2014. Ecological intensification of agriculture—sustainable by nature. *Current Opinion in Environmental Sustainability, SI: Sustainability governance and transformation* 8, 53–61. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2014.08.006>

Travlos, I.S., Cheimona, N., Roussis, I., Bilalis, D.J., 2018. Weed-Species Abundance and Diversity Indices in Relation to Tillage Systems and Fertilization. *Frontiers in Environmental Science* 6. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2018.00011>

Trevini, M., Benincasa, P., Guiducci, M., 2013. Strip tillage effect on seedbed tilth and maize production in Northern Italy as case-study for the Southern Europe environment. *Eur. J. Agron.* 48, 50–56. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2013.02.007>

Trichard, A., Alignier, A., Chauvel, B., Petit, S., 2013. Identification of weed community traits response to conservation agriculture. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 179, 179–186. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.08.012>

USDA NRCS, 2012. Revised Universal Soil Loss Equation, Version 2 [WWW Document]. URL http://fargo.nserl.purdue.edu/rusle2_dataweb/ (accessed 7.14.20).

Vasileiadis, V., Froud-Williams, R.J., Loddo, D., Eleftherohorinos, I.G., 2016. Emergence dynamics of barnyardgrass and jimsonweed from two depths when switching from conventional to reduced and no-till conditions. *Spanish Journal of Agricultural Research* 14, e1002. <https://doi.org/10.5424/sjar/2016141-8752>

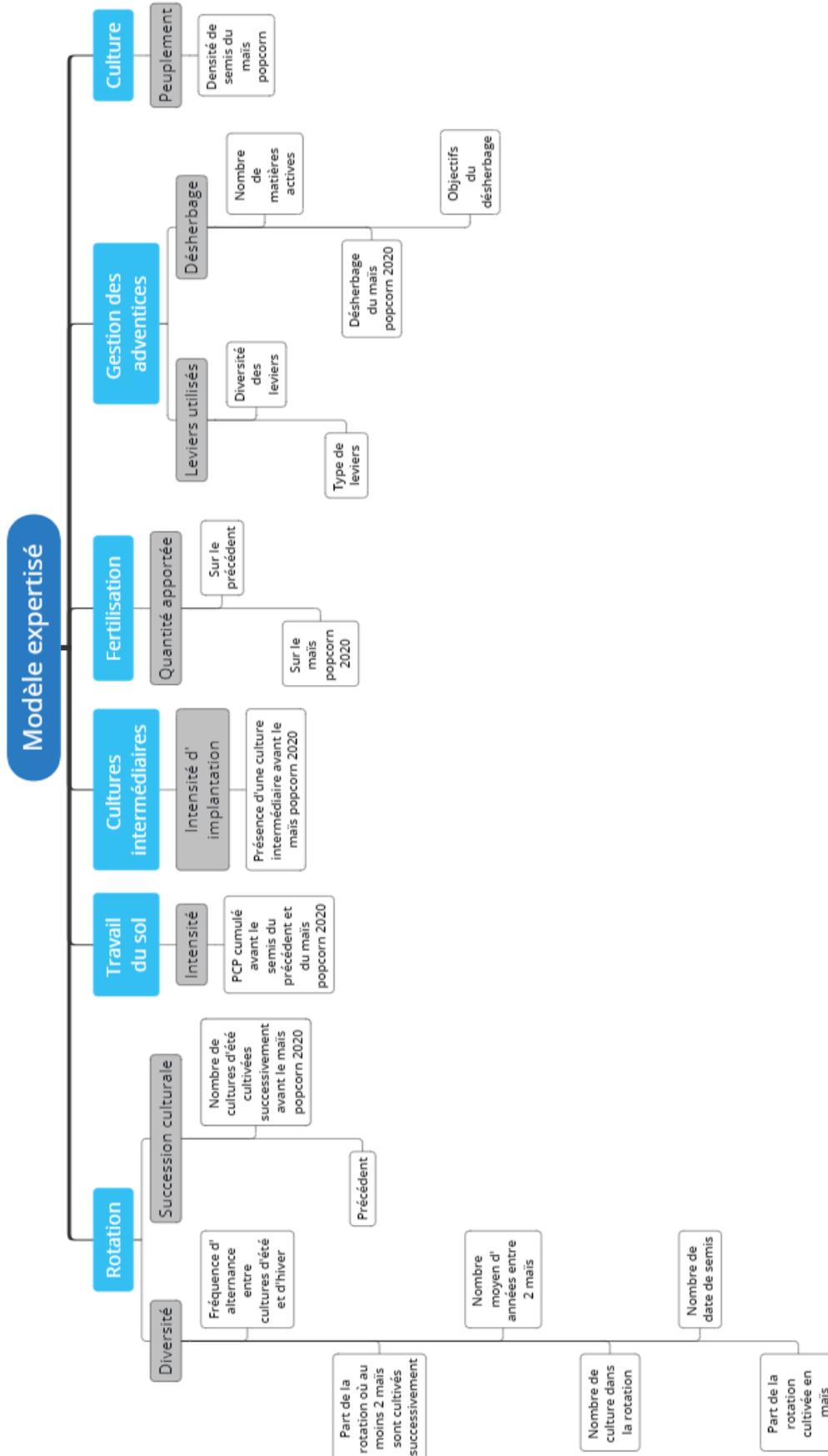
Vidotto, F., Fogliatto, S., Milan, M., Ferrero, A., 2016. Weed communities in Italian maize fields as affected by pedo-climatic traits and sowing time. *European Journal of Agronomy* 74, 38–46. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2015.11.018>

Yvoz, S., Petit, S., Biju-Duval, L., Cordeau, S., 2020. A framework to type crop management strategies within a production situation to improve the comprehension of weed communities. *European Journal of Agronomy* 115, 126009. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2020.126009>

Zhang, J., Salas, M.L., Jordan, N.R., Weller, S.C., 1999. Biorational approaches to managing *Datura stramonium*. *Weed Science* 47, 750–756. <https://doi.org/10.1017/S0043174500091438>

Annexe 1 : Arbre de décision construit à partir du modèle de typologie expertisé.

Toutes les variables sont placées au même niveau et ont la même importance.



Annexe 2 : Description du modèle statistique

Méthode. Ce modèle est basé sur l'utilisation d'outils statistiques de classification non supervisée afin de définir le nombre de groupes optimal en vue de sélectionner les variables du modèle de typologie. Le but ici est d'obtenir un modèle distinguant les SDC Popcorn avec un nombre optimal de variables et un minimum d'expertise dans la sélection de ces dernières. Cette deuxième typologie est nommée « modèle statistique ». Afin de définir le nombre de classe optimal de classification en vue du modèle statistique, un algorithme de classification non supervisé utilisant la distance de Gower, le Partitionnement Autour des Médoïdes (PAM) et le calcul de l'indicateur de la largeur des silhouettes, décrit par Martin (2016), ont été utilisés.

Classification hiérarchique des SDC Popcorn en vue du modèle statistique. Sur l'ensemble des variables issues de l'enquête, l'algorithme de classification non supervisée indiquait que le nombre de classes optimum était compris entre 3 et 5 classes. La classification en 5 classes a été retenue car elle permet de mieux distinguer certains agriculteurs.

La classification à 5 classes, sur l'ensemble des variables, conserve 3 classes de la classification du modèle expertisé. En effet, la classe regroupant les agriculteurs avec un SDC basé sur une rotation de 2 à 3 ans, une réduction de l'intensité du travail du sol et l'implantation de CI est conservée tout comme la classe des agriculteurs en AB et celle de l'agriculteur 2 (Figure 1). A l'inverse, la classe regroupant les agriculteurs ayant un SDC avec une forte importance du maïs a été coupée en deux séparant les agriculteurs 16 et 15 des agriculteurs 8 et 5. Cette séparation s'effectue notamment selon l'implantation ou non de CI pendant l'interculture et la fréquence de labour à l'échelle de la rotation (Figure 2). Les agriculteurs 16 et 15 vont avoir une fréquence moyenne d'implantation de CI à l'échelle de la rotation de 75% contre 38,5% dans le réseau ($p=0,021$). Ils vont également planter 50% de leur SAU en maïs contre 24,7% dans le réseau ($p=0,008$), avoir une part plus importante de leur rotation cultivée en maïs ($P=0,044$) et apporter une quantité d'eau d'irrigation plus importante : 288 mm contre 219 mm dans le réseau ($p=0,014$).

Les agriculteurs 8 et 5 vont quant à eux se distinguer par une fréquence de labour plus importante de 75% contre 14,6% dans le réseau ($p<0,001$) et par une fréquence d'absence de couverture des intercultures hivernales plus importante à l'échelle de la rotation : 66,7% contre 21,1% dans le réseau ($p=0,017$). La fréquence de labour plus importante n'engendre pas de différence concernant les variables de PCP (Figure 2). Cette classe va également être caractérisée par un nombre de cultures d'été cultivées successivement avant le maïs popcorn 2020 de 2 soit le maximum pouvant être attribué pour cette variable (Figure 2).

Le modèle statistique de caractérisation des SDC Popcorn. Ce modèle compte 31 variables soit 12 de plus que le modèle expertisé. Il est également représenté sous forme d'arbre de décision en annexe 3. La rotation et la gestion des adventices restent les composantes les plus caractérisées. Le modèle statistique utilise les mêmes variables que le modèle expertisé pour la rotation et la fertilisation. Le modèle statistique détaille les autres composantes du SDC utilisées par le précédent modèle. En effet, la fréquence de labour, la PCP pour le semis du précédent et celle pour le semis du maïs popcorn 2020 sont utilisées en plus de celle utilisée précédemment pour décrire l'intensité du travail du sol. Pour les CI, la fréquence d'absence de couverture des intercultures hivernales et celle d'implantation de CI à l'échelle de la rotation et le type de la CI utilisée ont été ajoutés au modèle. L'IFT herbicide, le programme de désherbage du précédent et le recours ou non à un herbicide total avant le semis sont les variables supplémentaires pour caractériser la gestion des adventices. La culture est caractérisée par sa performance avec le rendement moyen, son importance dans l'assolement en utilisant la part de l'assolement dédié au maïs, en plus du peuplement avec la densité de semis déjà utilisé dans le modèle expertisé. L'irrigation, composante ajoutée dans ce modèle, est caractérisée par la quantité d'eau d'irrigation apportée sur le maïs popcorn.

La classification hiérarchique des SDC Popcorn établie à partir des variables du modèle statistique permet de conserver au mieux la distinction entre les classes définies lors de la classification sur l'ensemble des variables (Figure 1). La distance entre les classes est plus faible que sur la classification sur l'ensemble des variables mais, comparée au modèle expertisé, ce phénomène est moins important (Figure 1). Comme pour le modèle statistique, l'agriculteur 2 est représenté à proximité de la classe 4 regroupant les agriculteurs de la classe 1 de la classification sur l'ensemble des variables. Néanmoins, le plus grand nombre de variables prises en compte et notamment sur les CI permet de distinguer cet agriculteur des autres sur la dimension 3 entraînant la conservation d'une classe uniquement pour cet agriculteur. De plus, les agriculteurs 5 et 8, regroupés dans la figure 1a, ont été dissociés dans cette classification. En effet, la structure de l'arbre de classification et du dendrogramme ont motivé ce choix afin de rester dans l'optique de ce modèle basé sur l'assistance des outils statistiques.

Résultats majeurs. Le modèle statistique permet de réduire la variabilité des compositions des communautés adventices observées entre les parcelles. En effet, il dissocie la classe 2 en deux groupes. Le premier associe les agriculteurs 15 et 16 caractérisés par une fréquence d'observation plus élevée de *Stelaria media* (stellaire intermédiaire) ($p=0,001$) et de rumex ($p=0,001$) notamment. Le second groupe regroupe les agriculteurs 8 et 5 ayant une richesse spécifique plus faible ($p=0,023$). L'agriculteur 2, caractérisé par une fréquence d'observation plus importante d'espèces dicotylédones comme *Abutilon theophrasti* (Abutilon de thréophraste) ($p<0,001$) ou *S. nigrium* ($p=0,028$), est lui isolé des autres agriculteurs de la classe 1 par ce modèle.

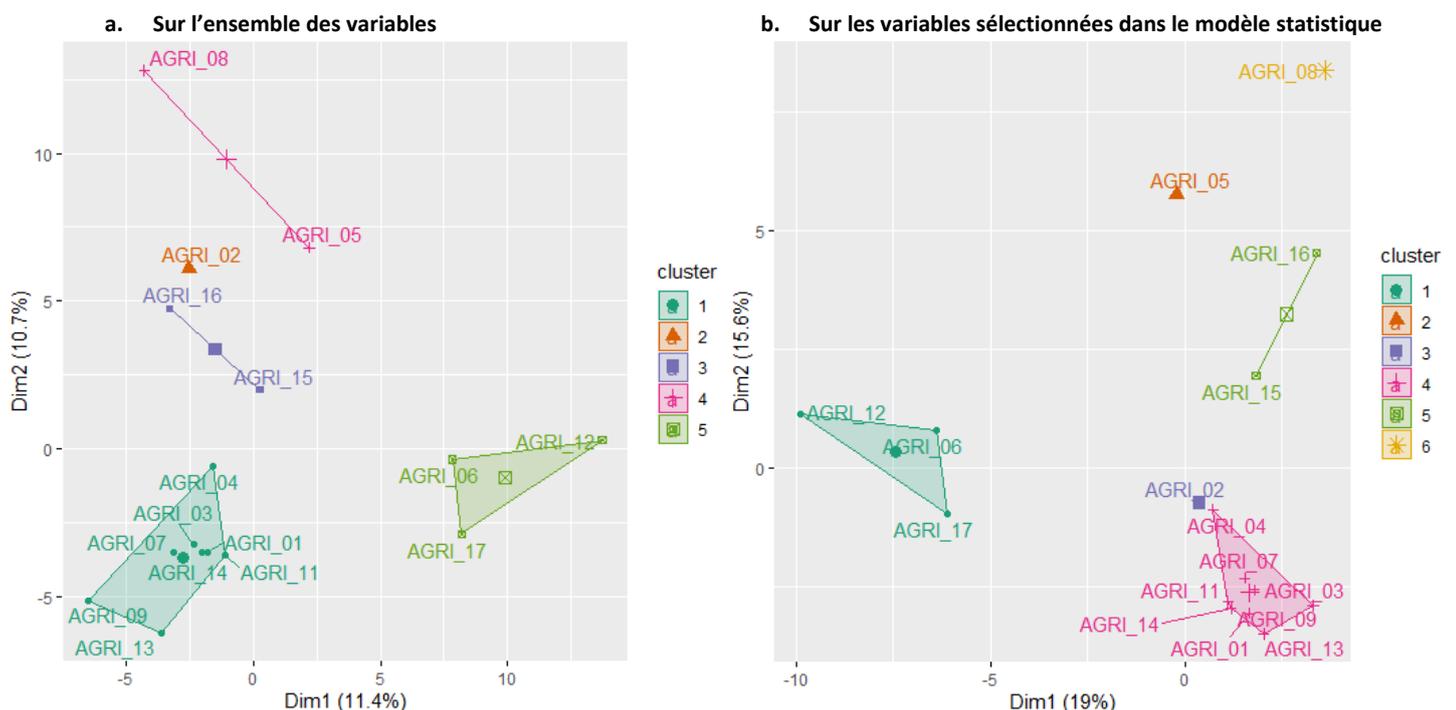


Figure 1 : Classification Hiérarchique des SDC Popcorn sur Composantes Principales de l'AFDM réalisée à partir des données d'enquêtes des agriculteurs du réseau à gauche (a.) et sur les variables sélectionnées dans le modèle statistique à droite (b.)

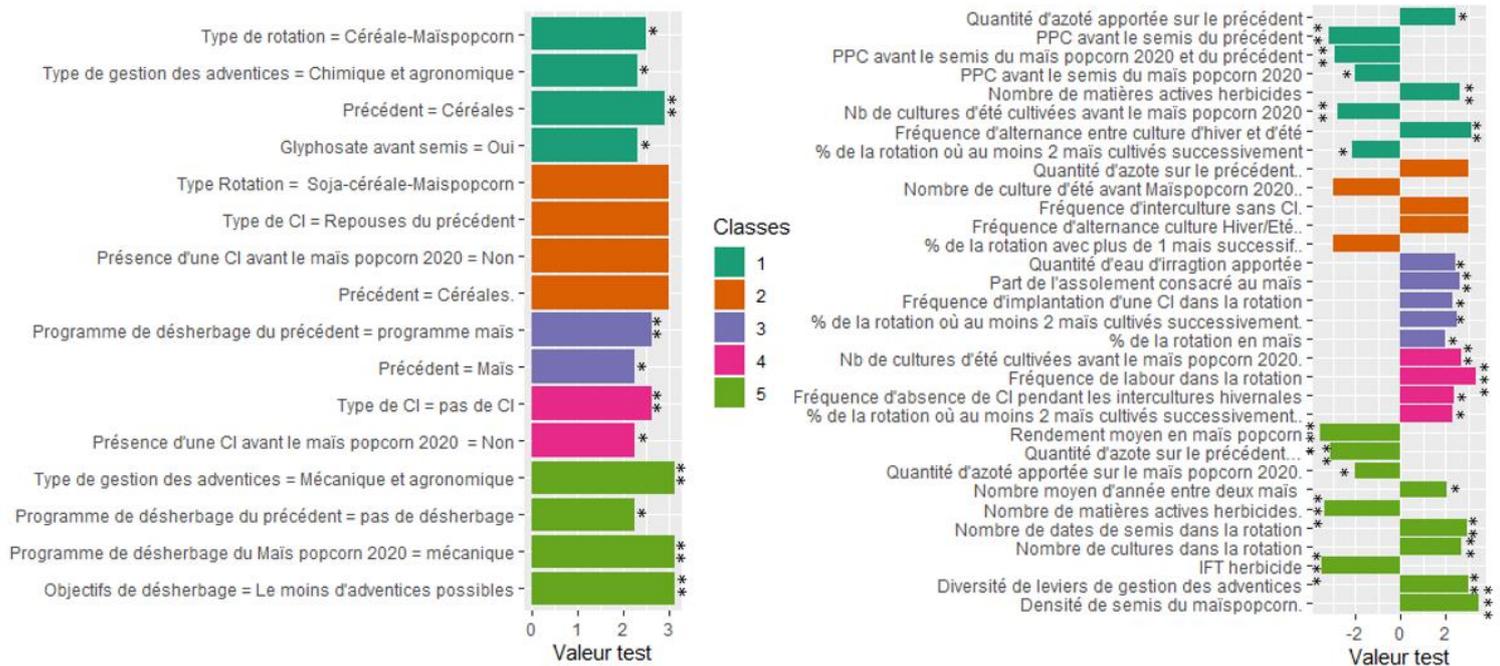
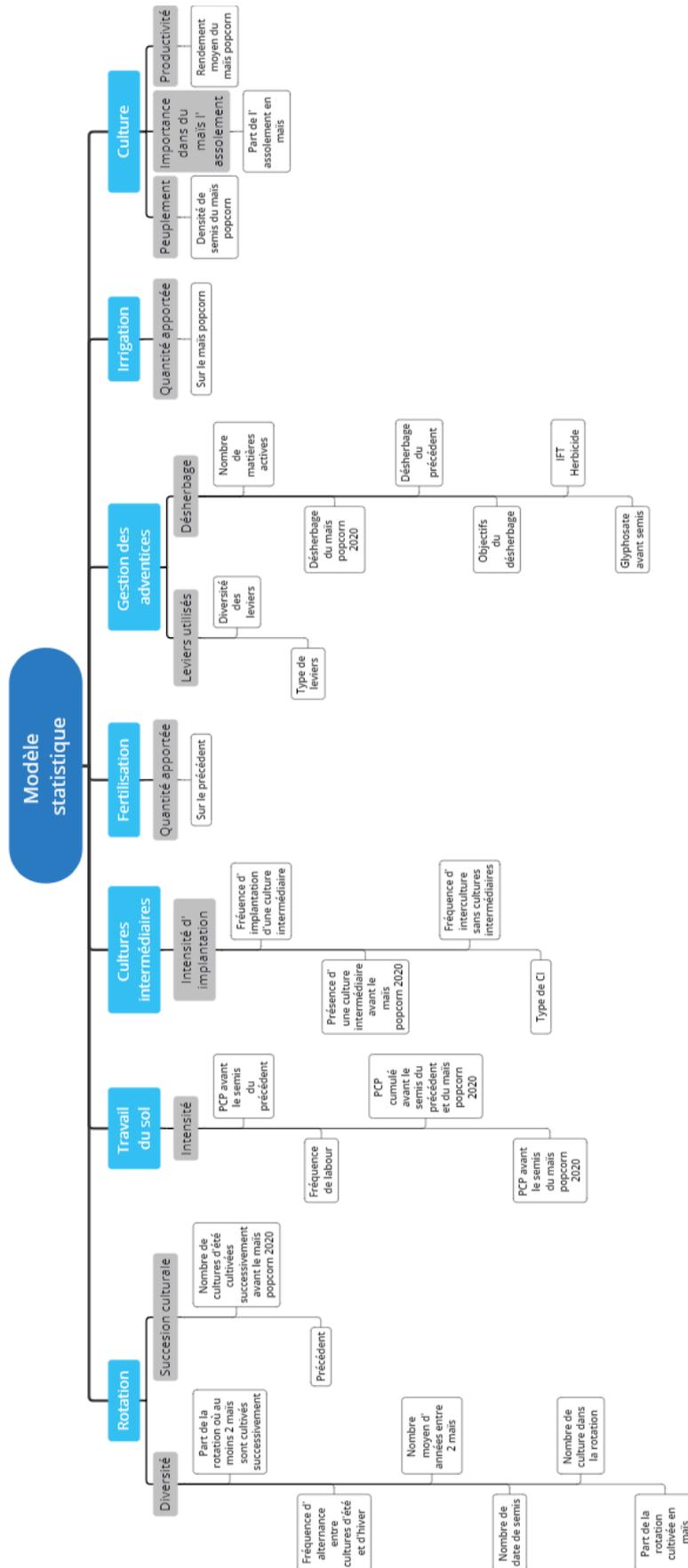


Figure 2 : Descriptions graphiques des classes du modèle statistique à partir de la classification sur l'ensemble des variables. Même description que pour la figure 12 du rapport

Arbre de décision construit à partir du modèle de typologie statistique. Toutes les variables sont placées au même niveau et ont la même importance.



	<p>nb_esp_Ci</p> <p>Fréquence_cv_%</p> <p>Mode_semis_cv</p> <p>Mode_destru_cv</p> <p>Date_destru_cv</p> <p>Type</p> <p>Resenties</p>	<p>Nombre d'espèces présentes dans la culture intermédiaire avant maïs popcorn</p> <p>Fréquence d'implantation des cultures intermédiaires (nombre d'années avec Ci/nombre d'années rotation)</p> <p>Méthode de semis utilisée</p> <p>Méthode de destruction utilisée</p> <p>Date de destruction</p> <p>Type de culture intermédiaire implantée selon la période de croissance avant maïs popcorn</p> <p>Ressenties de l'agriculteur sur ses cultures intermédiaires</p>
Matière organique	<p>MO</p> <p>Export_paille</p>	<p>Fréquence d'apport de matières organiques réalisés pendant la rotation</p> <p>Exportation des pailles du précédents</p>
Semis	<p>Date_semis_maïs</p> <p>Densité_semis_maïs</p> <p>Ecartements</p>	<p>Date de semis du maïs popcorn</p> <p>Densité de semis du maïs popcorn</p> <p>Ecartements de semis du maïs popcorn</p>
Fertilisation	<p>Type_ferti</p> <p>Quantité_N_Mais</p> <p>Quantité_N_n-1</p>	<p>Nom des éléments minéraux apportés</p> <p>Quantité d'engrais apportés sur maïs popcorn</p> <p>Quantité d'engrais apportés sur le précédent</p>
Irrigation	<p>Type_Irri</p> <p>Frequence_Irri_%</p> <p>Quantité_Irri</p>	<p>Type d'irrigation</p> <p>Fréquence d'irrigation (Nombre de cultures irriguées/nombre de cultures totales)</p> <p>Quantité d'eau apportée</p>
Gestion des adventices	<p>Objectifs_désherbage</p> <p>Vision_adventices</p> <p>Esp_probleme</p> <p>Type_lutte</p> <p>Diversité_levier</p> <p>Programme_natais</p> <p>Programme_deshherbage_Maïs</p> <p>Programme_deshherbage_n-1</p> <p>IFT_H</p> <p>NB_MA</p> <p>Glypho_semis</p> <p>Nettoyage_matos</p>	<p>Objectifs du désherbage</p> <p>Vision des adventices</p> <p>Espèces les plus problématiques</p> <p>Type de luttés utilisées</p> <p>Nombre de leviers de gestion des adventices utilisés</p> <p>Application ou non du programme conseillé par Natais</p> <p>Résumé du programme utilisée en maïs popcorn</p> <p>Résumé du programme utilisée sur le précédent</p> <p>Indice de Fréquence de Traitement Herbicide</p> <p>Nombre de matières actives utilisées dans le programme de désherbage du maïs popcorn</p> <p>Présence d'une application de glyphosate avant le semis ou juste après semis du maïs popcorn</p> <p>Présence d'un nettoyage des outils et engins agricole entre chaque parcelle</p>
Utilisation de matériel en commun	<p>ETA_Recolte</p> <p>ETA_TS</p> <p>CUMA_Recolte</p> <p>CUMA_TS</p>	<p>Utilisation d'une ETA pour la récolte</p> <p>Utilisation d'une ETA pour le travail du sol</p> <p>Utilisation d'une CUMA pour la récolte</p> <p>Utilisation d'une CUMA pour le travail du sol</p>

Annexe 4 : Tableau regroupant les noms scientifiques des espèces adventices observés ainsi que leur code EPPO et leur traits écologiques utilisés dans l'analyse (R = repousse, D = Dicotylédone et M = Monocotylédone)

Nom scientifique	Code EPPO	Type de cotylédon	Type de cycle	Type Biologique
Abutilon theophrasti	ABUTH	D	Annuel	Thérophyte
Althaea cannabina	ALGCA	D	Vivace	Hémicryptophyte
Amaranthus hybridus	AMACH	D	Annuel	Thérophyte
Amaranthus retroflexus	AMARE	D	Annuel	Thérophyte
Ammi majus	AMIMA	D	Annuel	Thérophyte
Anagallis arvensis	ANGAR	D	Annuel	Thérophyte
Atriplex patula	ATXPA	D	Annuel	Thérophyte
Avena fatua	AVEFA	M	Annuel	Thérophyte
Calystegia sepium	CAGSE	D	Vivace	Géophyte
Cardamine hirsuta	CARCHI	D	Annuel	Thérophyte
Chenopodium album	CHEAL	D	Annuel	Thérophyte
Chenopodium hybridum	CHECHY	D	Annuel	Thérophyte
Chenopodium polyspermum	CHEPO	D	Annuel	Thérophyte
Cichorium intybus	CICIN	D	Vivace	Hémicryptophyte
Cirsium arvensis	CIRAR	D	Vivace	Géophyte
Convolvulus arvensis	CONAR	D	Vivace	Hémicryptophyte
Crepis sp	CVP_SP	D	Annuel	Thérophyte
Datura stramonium	DATST	D	Annuel	Thérophyte
Digitaire sp	DIG_SP	M	Annuel	Thérophyte
Elymus repens	AGRRE	M	Vivace	Géophyte
Epilobium tetragonum	EPIAD	D	Vivace	Hémicryptophyte
Euphorbia Helioscopia	EPHHE	D	Annuel	Thérophyte
Follapia convovulsus	POLCO	D	Annuel	Thérophyte
Galium aparine	GALAP	D	Annuel	Thérophyte
Galium mollugo	GALAL	D	Vivace	Hémicryptophyte
Geranium molle	GERMO	D	Annuel	Thérophyte
Hedera helix	HEHE	D	Vivace	Hémicryptophyte
Helminthotheca echioides	PICEC	D	Annuel	Thérophyte
Kickxia elatine	KICEL	D	Annuel	Thérophyte
Kickxia spuria	KICSP	D	Annuel	Thérophyte
Lapsana communis	LAPCO	D	Annuel	Thérophyte
Lolium multiflorum	LOLMU	M	Annuel	Thérophyte
Lolium sp	LOL_SP	M	Annuel	Thérophyte
Lotus corniculatus	LOTCO	D	Vivace	Hémicryptophyte
Malva sylvestris	MALSI	D	Vivace	Hémicryptophyte
Matricaria chamomilla	MATRE	D	Annuel	Thérophyte
Matricaria perforata Mérat	MATIN	D	Annuel	Thérophyte
Medicago lupulina	MEDLU	D	Annuel	Thérophyte
Mercurialis annua	MERAN	D	Annuel	Thérophyte
Oxalis corniculata	OXACO	D	Vivace	Géophyte
Panic pieds de cop	ECHCG	M	Annuel	Thérophyte

Panic Setaire Digitaire	PSD	M	Annuel	Thérophyte
Panicum miliaceum	PANMI	M	Annuel	Thérophyte
Papaver sp	PAP_SP	D	Annuel	Thérophyte
Pharalis sp	PHAPA	M	Annuel	Thérophyte
Picris hieracioides	PICHI	D	Vivace	Hémicryptophyte
plantago major	PLAMA	D	Vivace	Hémicryptophyte
Poa pratensis	POAAN	M	Annuel	Thérophyte
Polygonum aviculare	POLAV	D	Annuel	Thérophyte
Polygonum lapathifolium	POLLA	D	Annuel	Thérophyte
Polygonum persicaria	POLPE	D	Annuel	Thérophyte
Portulaca oleracea	POROL	D	Annuel	Thérophyte
Potentilla reptans	PTLRE	D	Vivace	Hémicryptophyte
R blette	R. blette	D	Annuel	Thérophyte
R Ble	R.Blé	M	Annuel	Thérophyte
R luzerne	R.luzerne	D	Annuel	Thérophyte
R mais	R.mais	M	Annuel	Thérophyte
R phacelie	R.phacelie	D	Annuel	Thérophyte
R radis	R.radis	D	Annuel	Thérophyte
R tournesol	R.tournesol	D	Annuel	Thérophyte
Ranunculus repens	RANRE	D	Vivace	Hémicryptophyte
Raphanus raphanistrum	RAPRA	D	Annuel	Thérophyte
Renoncule sp	RAN_SP	D	Vivace	Hémicryptophyte
Renoué sp	RENOUE_SP	D	Annuel	Thérophyte
Reseda lutea	RESLU	D	Vivace	Hémicryptophyte
Rubus sp	RUBUS_SP	D	Vivace	Hémicryptophyte
Rumex obtusifolius	RUMOB	D	Vivace	Hémicryptophyte
Rumex sp	RUM_SP	D	Vivace	Hémicryptophyte
Senecio vulgaris	SENVU	D	Annuel	Thérophyte
Setaire sp	SET_SP	M	Annuel	Thérophyte
Sinapsis arvensis	SINAR	D	Annuel	Thérophyte
Solanum nigrum	SOLNI	D	Annuel	Thérophyte
Sonchus asper	SONAS	D	Annuel	Thérophyte
Stellaria media	STEME	D	Annuel	Thérophyte
Taraxacum officinalis	TAROF	D	Vivace	Hémicryptophyte
Veronique sp	VER_SP	D	Annuel	Thérophyte
Viola tricolor	VIOTR	D	Annuel	Thérophyte
Viscia hirsuta	VICHI	D	Annuel	Thérophyte
viscia sativa	VICSA	D	Annuel	Thérophyte
Xanthium sp	XANST	D	Annuel	Thérophyte

 agriculture • alimentation • environnement 	Diplôme : Ingénieur de l'Institut Supérieur des Sciences Agronomiques, Agroalimentaires, horticoles et du Paysage Spécialité : Ingénieur Agronome Spécialisation : Sciences et Ingénierie du Végétal Parcours : Agrosystème : conception & évaluation Responsable de parcours : Matthieu Carof
Auteur(s) : Valentin Deremetz Date de naissance* : 22/09/97	Organisme d'accueil : INRAE – UMR AGIR Adresse : 24 Chemin de Borde Rouge 31230 Auzeville-Tolosane
Nb pages : 25 Annexe(s) : 7	
Année de soutenance : 2020	Maître de stage : Simon Giuliano
Titre français : Caractérisation des systèmes de culture en maïs popcorn et évaluation de leur efficacité de gestion des communautés adventices et du datura (<i>D. stramonium</i>) dans un réseau d'agriculteurs du Sud-Ouest de la France	
Titre anglais : Characterization of popcorn cropping systems and assessment of their efficiency of weed community and datura (<i>D. stramonium</i>) management in a network of farmers of the South-west of France	
Résumé (1600 caractères maximum) :	
<p>La gestion des adventices et de <i>D. stramonium</i> est un enjeu majeur des agriculteurs et des filières dédiées à l'alimentation humaine comme le popcorn. Avant de repenser les systèmes de culture (SDC) pour une gestion écologiquement intensive des adventices, ils doivent être caractérisés et leur efficacité de gestion des adventices évaluée, objets de notre étude menée dans un réseau de 16 agriculteurs produisant du maïs popcorn dans le Sud-Ouest de la France. A partir d'enquêtes réalisées auprès des agriculteurs, les SDC ont été caractérisés selon la diversité de la rotation et la gestion des adventices. Deux types de sol ont été identifiés impactant le SDC mis en place. Les mesures des caractéristiques des communautés adventices présentes dans les parcelles suivies après désherbage, montre notamment une plus forte abondance des communautés adventices entre les parcelles en agriculture biologique (AB) et en agriculture de conservation, que celle en agriculture « conventionnelle ». Les biomasses étaient respectivement de 192 ± 188, 40 ± 22 et 1 ± 3 g MS.m⁻² à floraison du maïs. L'orientation des SDC explique mieux les différences observées sur les communautés adventices que notre typologie due à une très faible abondance des adventices en « conventionnelle ». Les parcelles en AB et celles où l'écartement de semis est de 80 cm sont plus à risque pour <i>D. stramonium</i> étant plus abondant sur ces parcelles. A partir de la littérature et de nos résultats, un cadre de reconception des SDC est proposé orientant cette étape selon la présence ou non de <i>D. stramonium</i> dans la parcelle.</p>	
Abstract (1600 caractères maximum) :	
<p>Weeds and <i>D. stramonium</i> management is a major challenge for farmers and human food chain as popcorn. Before redesigning cropping systems (CS) for an ecological intensive weed management, CS need to be characterized and their weeds management efficiency assessed. This is the aim of this study conducted in a network of 16 popcorn farmers in the South-West of France. From farmers surveys, CS were mainly characterized by the diversity of the crop rotation and the weed management. Two soil types were identified influencing the type of CS. Abundance, composition and diversity of weed communities were measured in one field of each farmer after weeding. A strong distinction between fields managed in organic agriculture and in conservation agriculture was observed. In these fields, weed communities had a greater abundance than in those managed in conventional agriculture. Weed biomass was about 192 ± 188, 40 ± 22 et 1 ± 3 g MS.m⁻² respectively in these different types of management. The orientation of CS provided a better explanation of the differences seen in the characteristic of weed communities than our typology due to a very low weed abundance in conventional. Fields managed in organic agriculture were more vulnerable to <i>D. stramonium</i> infestation as in those where the seed spacing was 80 cm. In these fields, <i>D. stramonium</i> was more abundant. Based both on the literature and our results, a redesign framework of CS was proposed to modify the CS in function of the presence or not of <i>D. stramonium</i> in the field.</p>	
Mots-clés : Gestion des adventices, abondance, composition, <i>Datura stramonium</i> , maïs popcorn, système de culture	
Key Words : Weeds management, abondance, composition, <i>Datura stramonium</i> , corn popcorn, cropping system	