2020 / 2021

MASTER AETPF

Agrosciences, Environnement, Territoires, Paysage, Forêt

Parcours : Ecosystèmes Agricoles et Forestiers (ECOSAFE)

Réduire l'utilisation des pesticides par la diversification des cultures : Analyse des solutions proposées par le réseau de fermes DEPHY, filières 'Grandes cultures' et ' Polyculture-élevage '

Dabo DANFAKHA

Mémoire de stage, soutenu à Nancy le 31/08/2021

Nicolas MUNIER-JOLAIN, Ingénieur de recherche

Séverine PIUTTI, enseignant Chercheur

UMR AGROECOLOGIE INRAE-DIJON, 17 Rue Sully, 21000 Dijon

Table des matières

Table des figures....iii
Table des annexes....iv
Abréviations et Glossaire....v
Introduction....1
I. Contexte de l'étude....2
A. Le plan Ecophyto....2
1. Définition d'un pesticide....2
2. Historique du plan Ecophyto....2
3. De Ecophyto à Ecophyto II puis à Ecophyto II+....3
B. Les fermes du réseau DEPHY....3
1. Présentation et objectifs du réseau des fermes DEPHY....3
2. Indicateur de Fréquence de Traitement (IFT)....4
C. AGROSYST....5
1. Base de données AGROSYST....5
2. Systèmes de Culture (SdC)....5
II. Problématiques et hypothèses....6
A. Problématiques....6
B. Hypothèses....6
III. Matériels et méthodes....6
IV. Résultats....8
A. Mélanges d'espèces....8
1. Typologie des mélanges d'espèces....9
2. Caractérisation des mélanges d'espèces....10
a) Mélanges d'espèces à « grain »....10
b) Mélanges colza....11
c) Mélanges d'espèces fourragères annuelles.....12
d) Mélanges d'espèces fourragères pluriannuelles....12
3. Association des cultures en mélanges d'espèces aux ateliers d'élevage....13
4. Usage des pesticides en mélange d'espèces....14
a) Mélanges d'espèces à « grain », fourragers annuels et du blé tendre en pur.....14
b) Mélanges fourragers pluriannuels et la luzerne en pure....15
c) Colza cultivé en pur et en mélange....15
5. Fertilisation azotée des mélanges....16
a) Mélanges d'espèces à « grain », fourragers annuels et du blé tendre en pur.....16

b) Colza en mélange et en pur 16
B. Mélanges de variétés de blé tendre 17
1. Identification et localisation des mélanges de variétés de blé tendre 17
2. Variétés de blé tendre en culture pure et en mélange 18
3. Usage de pesticides en mélanges de variétés de blé tendre 18
4. Apport d'azote sur blé tendre pur et en mélange de variétés 19
V. Discussion 20
A. Mélanges d'espèces et la diminution des intrants chimiques 20
B. Impact des mélanges de variétés de blé tendre sur les pesticides et les fertilisants 21
Conclusion et perspectives 22
Bibliographie 23
Webographie 25
Résumé : I
Remerciements II
Annexes III

Table des figures

Figure 1: Localisation des fermes DEPHY et répartition des groupes FERME par filière 4
Figure 2 : Localisation des fermes DEPHY et des mélanges d'espèces en Grandes Cultures (GC) et Polyculture-Elevage (PE) 8
Figure 3 : Proportion de l'agriculture biologique et conventionnelle 9
Figure 4 : Localisation des fermes DEPHY et typologie des mélanges d'espèces 10
Figure 5 : Mélanges d'espèces à « grain » 10
Figure 6 : Colza en mélange 11
Figure 7 : Mélanges d'espèces fourragères annuelles 12
Figure 8 : Mélanges d'espèces fourragères pluriannuelles 12
Figure 9 : Répartition des exploitations en fonction de leurs ateliers d'élevage et de la présence de cultures en mélange d'espèces 13
Figure 10 : IFT sur les cultures annuelles par types de conduites 14
Figure 11 : IFT sur les cultures pluriannuelles par type de conduite 15
Figure 12 : IFT sur colza cultivé en pur et en mélange d'espèces 15
Figure 13 : Apport d'azote sur les cultures annuelles en fonction du type de conduite 16
Figure 14 : Fertilisation azotée du colza cultivé en mélange d'espèces et en pure 17
Figure 15 : Localisation des fermes DEPHY et des mélanges de variétés de blé tendre 17
Figure 16 : Fréquence d'occurrence des variétés de blé tendre en mélange et en culture pure 18
Figure 17 : Traitement en pesticides du blé tendre cultivé en pur et en mélange de variétés 19
Figure 18 : Fertilisation en azote du blé tendre cultivé en pur et en mélange de variétés 19

Table des annexes

Annexe 1 : Mélanges d'espèces à « grain » en agriculture biologique et en conventionnelle III
Annexe 2 Colza en mélange en agriculture biologique et conventionnelle..... III
Annexe 3 : Mélanges d'espèces fourragères annuelles en agriculture biologique et conventionnelle... IV
Annexe 4 : Mélanges d'espèces fourragères pluriannuelles en agriculture biologique et en conventionnelle IV
Annexe 5 : Répartition des exploitations en fonction de leurs ateliers d'élevage et de la présence de cultures en mélange d'espèces en agriculture conventionnelle (A) et biologique (B) V
Annexe 6 : Variétés de blé tendre cultivées en mélange (A) et en pure (B)..... V
Annexe 7: IFT fongicide sur les cultures annuelles par types de conduites VI
Annexe 8 : IFT fongicide sur les cultures pluriannuelles par type de conduite VI
Annexe 9 : IFT fongicide sur colza cultivé en pur et en mélange d'espèces..... VII
Annexe 10 : IFT fongicide du blé tendre cultivé en pur et en mélange de variétés VII

Abréviations et Glossaire

AGROSYST : Système d'information dédié au plan Ecophyto et au réseau des fermes DEPHY

ANOVA : Analyse de variance

CAN : Cellule d'Animation Nationale

CE : Commission Européenne

DEPHY : Démonstration, Expérimentions, Production de références sur des systèmes de cultures économes en produits pHYtosanitaires

Ecophyto : Plan gouvernemental de réduction d'usage des pesticides de 50%

GC : Grande Culture

IFT : Indicateur de Fréquence de Traitement

MAA : Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation

MAAF : Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt

MoBiDiv : Mobiliser et sélectionner la diversité cultivée intra et inter-spécifique pour un changement systémique vers une agriculture sans pesticide

MTES : Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire

NODU : NOmbre de Doses Unités

PE : Polyculture-Elevage

PIC : Protection Intégrée des Culture

PPR : Programme Prioritaire de Recherche

SdC : Système de Culture

SUD : 'Sustainable Use of pesticides Directive'

TS : Traitement de Semence

Introduction

Les pesticides font partie intégrante de l'agriculture moderne et contribuent au contrôle de la flore adventice, des maladies et des ravageurs de cultures. Au cours des deux dernières décennies, l'utilisation de pesticides a augmenté plus de 40%, et actuellement, plus de 4,1 millions de tonnes sont utilisées chaque année dans le monde (Riedo et al., 2021). Leur utilisation constitue l'un des moyens qui ont permis le maintien en quantité de l'approvisionnement alimentaire malgré l'augmentation continue de la population mondiale (Charlier & Plomteux, 2002).

Malgré leurs avantages sur le rendement des cultures, l'utilisation intensive et généralisée des pesticides soulève de nombreuses préoccupations environnementales en raison de la contamination des ressources naturelles (Riedo et al., 2021). Les pratiques agricoles peuvent réduire la capacité des écosystèmes à fournir des biens et des services. Des apports importants d'engrais et de pesticides peuvent, par exemple augmenter les nutriments et les toxines dans les eaux souterraines et les eaux de surface, entraînant des coûts de purification de l'eau, et diminuant les valeurs de la pêche et des loisirs(Tilman et al., 2002). Un autre inconvénient de l'usage excessif des pesticides est leur répercussion sur la 'santé humaine' et animal. En effet, l'utilisation abusive des pesticides est, selon (Aubertot et al. (2007) soupçonnée d'avoir des effets délétères sur la santé des utilisateurs, affirmant la nécessité de réduire leur emploi. L'utilisation de produits phytosanitaires est aussi considérée comme étant l'une des causes principales du déclin de biodiversité dans les terres agricoles. Les études ont montré que l'usage des pesticides peut affecter négativement les organismes non cibles entrainant une perte de biodiversité dans les parcelles agricoles (Martel et al., 2019; Sonoda et al., 2011).

Ces multiples inconvénients environnementaux et sanitaires de l'agriculture conventionnelle sont à l'origine d'une prise de conscience de la nécessité d'un changement de paradigme, incarné par les mouvements agroécologiques en société et sciences.

Pour nourrir une population mondiale croissante, nous avons besoin des pratiques agricoles qui fournissent suffisamment de nourriture sans pour autant altérer l'environnement tout en assurant la viabilité économique des agriculteurs (Wezel et al., 2014). La sécurité alimentaire étant une préoccupation et une nécessité primordiale pour chaque Etat, la diversification des cultures peut s'avérer être un outil dynamique pour assurer l'approvisionnement alimentaire de façon durable […] (Ijaz et al., 2019). Plusieurs études ont, en effet souligné l'importance de la diversité intraspécifique (Chateil et al., 2013; Hajjar et al., 2008; Macfadyen & Bohan, 2010) et interspécifique (Altieri, 1999; Hauggaard-Nielsen et al., 2008) pour la stabilisation des rendements des cultures.

Avec la prise de conscience des effets négatifs des pesticides (Brunet et al., 2008), la réduction d'usage de ces derniers en agriculture constitue un défi majeur pour améliorer la durabilité des systèmes de cultures (Lechenet et al., 2016).

Ainsi, suite à l'avènement du Grenelle de l'environnement en 2007, le gouvernement français a lancé le plan Ecophyto en 2008, avec un objectif de réduction de 50% l'usage des pesticides, initialement avant 2018, mais cet objectif a été reporté à 2025 avec les versions successives du plan (Ecophyto II et Ecophyto II+).

La diversification des cultures constitue un des leviers majeurs souvent cité comme support de la transition vers l'agroécologie. A l'échelle des parcelles, la diversification des espèces cultivées qui se succèdent dans le temps permet de casser le cycle biologique des bioagresseurs, de réduire les niveaux d'inoculums. Les cultures en mélanges d'espèces et de variétés sont également supposées être souvent moins affectées par les bioagresseurs. A l'échelle du paysage,

la diversification réduit la part de surface occupée par chaque culture, et réduit la pression des bioagresseurs qui leurs sont inféodées. Cependant, les réductions d'usage de pesticides qui sont permises par la diversification des cultures sont encore peu quantifiées.

L'objectif de ce stage est de réaliser une analyse des données qui décrivent les systèmes de grandes cultures et de polyculture-élevage du réseau des fermes DEPHY afin de caractériser les différentes formes de diversification interspécifique des cultures et intraspécifique de la culture de blé tendre, et d'évaluer les réductions de dépendance aux pesticides que permettent ces différentes formes de diversification.

Ce présent travail s'inscrit dans le projet MoBiDiv, un des projets retenus dans le cadre d'un grand programme de recherche sur la réduction des produits phytosanitaires (programme PPR Cultiver et protéger autrement). Le projet MoBiDiv se concentre sur l'étude de la diversification des cultures, notamment en mélanges d'espèces et de variétés, comme un moyen de réduction des intrants chimiques. Ce stage a été effectué au sein de l'UMR Agroécologie d'Inrae-Dijon.

I. Contexte de l'étude

A. Le plan Ecophyto

1. Définition d'un pesticide

Le terme pesticide représente, par définition deux types de produits, à savoir : «

- Les biocides, servant à détruire, repousser ou rendre inoffensifs les organismes nuisibles, à en prévenir l'action ou à les combattre de toute autre manière, par une action chimique ou biologique ;
- Les produits phytopharmaceutiques qui permettent de protéger les végétaux en détruisant ou éloignant les organismes nuisibles indésirables (y compris végétaux indésirables) ou en exerçant une action sur les processus vitaux des végétaux. Ils sont destinés à l'un des usages suivants :
  - Protéger les végétaux ou les produits végétaux contre tous les organismes nuisibles ou prévenir l'action de ceux-ci
  - Exercer une action sur les processus vitaux des végétaux, telles les substances, autres que les substances nutritives, exerçant une action sur leur croissance
  - Assurer la conservation des produits végétaux
  - Détruire les végétaux ou les parties de végétaux indésirables
  - Freiner ou prévenir une croissance indésirable des végétaux » (MAA, 2021).

Dans cette étude, nous utiliserons le terme pesticide comme équivalent aux produits phytopharmaceutiques ou phytosanitaires.

2. Historique du plan Ecophyto

Entre 2004 et 2008 en France, le Plan national santé environnement a joué un tournant décisif dans la lutte contre les polluants ayant un impact sur la santé, avec la création de l'Observatoire des résidus de pesticides. Les conséquences de l'utilisation excessive de ces produits sur la perte de leur efficacité, liée à l'apparition de bioagresseurs résistants ou encore le coût de ces intrants dans l'agriculture, ont également été soulignées. Ces éléments ont conduit à une forte volonté de part des pouvoirs publics de diminuer l'utilisation de ces produits phytopharmaceutiques (Guichard et al., 2017).

La Commission européenne a adopté en 2009 une directive (2009/128/CE) sur l'utilisation durable des pesticides (connue sous le nom de SUD), qui prévoyait que « les États membres aient recours à des plans d'action nationaux visant à fixer des objectifs quantitatifs, des cibles, des mesures, des calendriers et des indicateurs en vue de réduire les risques et les effets de l'utilisation des pesticides sur la santé humaine et l'environnement et à encourager le développement et l'introduction de la lutte intégrée contre les ennemis des cultures et de méthodes ou de techniques de substitution en vue de réduire la dépendance à l'égard de l'utilisation des pesticides ». En France, le Grenelle de l'environnement de 2007 a joué un rôle majeur dans les politiques publiques en rapport avec cette problématique, en adoptant un objectif de diminution des usages, comme contribution majeure à l'objectif de réduction des risques.

A l'issue ce Grenelle de l'Environnement, et en application de la directive SUD, le gouvernement français a lancé un plan de réduction de 50% des usages des pesticides dans un délai de 10 ans, si possible : c'est le Plan Ecophyto 2018 (CAN,2018).

De 2009 à 2014, avec la mobilisation importante des agriculteurs, de multiples actions de structuration reconnues par les parties prenantes du plan ont été élaborées. Les premiers résultats du réseau des fermes DEPHY (réseau pilote) ont été encourageant, confirmant qu'il est possible de maintenir la performance économique des parcelles agricoles tout en diminuant la dépendance aux pesticides (MTES, 2018).

3. De Ecophyto à Ecophyto II puis à Ecophyto II+

Depuis la création du plan Ecophyto I et malgré des moyens engagés importants, les résultats ne sont pas satisfaisants : sur la période 2009–2013, l'indicateur retenu pour le suivi du plan (le nombre de doses unités [NODU]) enregistre une augmentation de la consommation nationale de pesticides de 5 % conduisant la révision de Ecophyto I et son passage à Ecophyto II. Cette version 2 du plan révise les échéances : l'ambition de moins 50 % est maintenue mais repoussée à 2025. Ce nouveau plan met en avant la continuité, en renforçant les « actions structurantes » comme le Bulletin de Santé Végétale et réseau de fermes DEPHY. Le réseau DEPHY est étendu à 3000 fermes de démonstration, et un deuxième cercle de fermes engagées dans la réduction des pesticides est créé, visant un objectif de 30.000 fermes (Guichard et al., 2017).

Le Plan Ecophyto II+ a été élaboré pour compléter et adapter le plan Ecophyto II afin d'intégrer les actions prévues tant dans le plan d'action sur les produits phytopharmaceutiques et une agriculture moins utilisatrice des produit phytosanitaires ainsi que dans le plan de sortie du glyphosate dans un délais de 5 ans pour l'ensemble des usages annoncé en juin 2018. Les autres actions du plan Ecophyto II ont fait l'objet de modifications permettant de rendre compte de l'avancement des actions décidées mais sans remise en cause, ni changement de fond (MTES, 2018).

B. Les fermes du réseau DEPHY

1. Présentation et objectifs du réseau des fermes DEPHY

Le réseau DEPHY est une des actions 'phares' du plan Ecophyto, visant à « mutualiser les données de références sur les systèmes de culture (SdC) économes en produits phytopharmaceutiques au sein d'un réseau national couvrant l'ensemble des filières de production et en associant les différents partenaires, et valoriser le rôle des fermes appartenant à ce réseau » (CAN, 2018). Le réseau DEPHY est initié en 2010 et regroupe actuellement environ 3000 agriculteurs qui sont engagés volontairement dans la réduction des produits phytosanitaires. DEPHY signifie Démonstration, Expérimentions, Production de références sur des systèmes de cultures économes en produits pHYtosanitaires. Réparties sur l'ensemble du

territoire national, il regroupe l'ensemble des grandes filières de la production française : grandes cultures, polyculture-élevage, viticulture, arboriculture, légumes-maraîchage, horticulture et cultures tropicales schématisé sur la figure 1 (CAN, 2018).

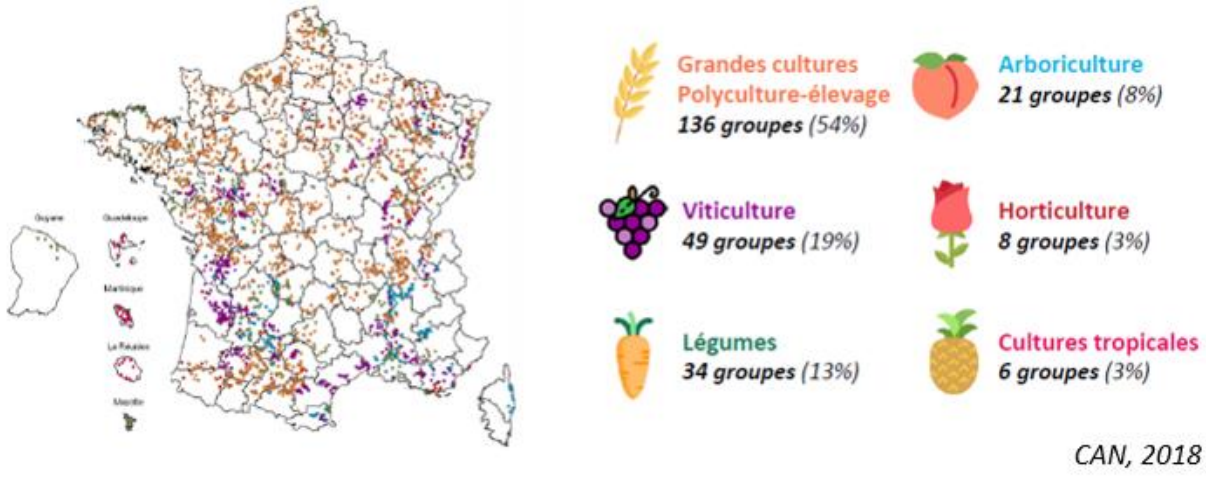


Figure 1: Localisation des fermes DEPHY et répartition des groupes FERME par filière

La finalité du réseau DEPHY se résume, selon la CAN (2018), à éprouver, valoriser et déployer les techniques et systèmes agricoles qui réduisent l'usage des produits phytosanitaires tout en étant performants sur les plans socio-économique et environnemental.

Le réseau DEPHY vise plusieurs objectifs complémentaires : «

- Favoriser les dynamiques d'apprentissage et de changement ;
- Soutenir les processus d'innovation ;
- Capitaliser et mutualiser les connaissances et ressources sur des techniques et systèmes agricoles économes et multi-performants ;
- Valoriser et transférer ces systèmes » (CAN, 2018).

2. Indicateur de Fréquence de Traitement (IFT)

L'IFT est l'indicateur utilisé par le plan Ecophyto pour mesurer l'usage de pesticide au champ. Il est calculé sur les pratiques déclarées des agriculteurs. Il est fondé sur une normalisation des produits commerciaux par leur dose d'homologation qui permet de sommer dans un même programme des produits aux caractéristiques très différentes.

Cet indicateur est aujourd'hui largement utilisé dans le réseau de fermes DEPHY où il est calculé à la fois à l'échelle annuelle par culture et à l'échelle pluriannuelle de la succession des cultures (Guichard et al., 2017). C'est cet indicateur que nous utiliserons dans cette étude.

L'IFT est calculé, comme le rapport entre la dose appliquée d'un produit phytosanitaire donné et la dose de référence du produit pondéré par la proportion de surface traitée (MAAF, 2015).

$$ITF = \frac{Dose\ appliquée}{\text{Dose de référence}} X \frac{Surface\ traitée}{Surface\ total\ de\ la\ parcelle}$$

Il existe plusieurs versions de calcul de l'IFT, selon le mode de définition de la dose de référence. Dans notre travail, nous avons utilisé la méthode de calcul « historique », définie par le Ministère de l'Agriculture en 2012, dans laquelle la dose de référence est définie pour un

couple produit/culture, comme la plus petite dose homologuée du produit pour les différents usages homologués sur la culture concernée. Le calcul intègre les traitements de semences (TS), avec la règle (définie par le Ministère de l'Agriculture): IFT_TS = 1 pour toute culture dont les semences sont traitées avec au-moins un produit phytosanitaire, quelle que soit la nature de ce(s) produit(s), IFT_TS = 0 si les semences ne sont pas traitées.

C. AGROSYST

1. Base de données AGROSYST

Développé par INRAE, AGROSYST est le Système d'Information créé pour servir le plan Ecophyto et du réseau des fermes DEPHY. Il a pour vocation d'accueillir et de mettre à disposition les données issues du réseau des fermes DEPHY. Son objectif est de capitaliser la connaissance des systèmes de culture étudiés dans un système d'information, ce qui facilite leur valorisation et leur analyse transversale (AGROSYST, 2017). Les objectifs d'AGROSYST s'articulent autour de : «

- La facilitation de la description, de la connaissance et de l'évaluation des systèmes de culture (SdC) économes en produits phytosanitaires ;
- L'analyse des déterminants des performances des SdC testés ;
- L'identification des clés pour concevoir des SdC adaptés à chaque condition ;
- La facilitation de l'identification (et par conséquent le développement) des SdC économes et performants » (Réseau PIC, 2012).

Sur l'internet, AGROSYST est accessible sous la forme d'une application à l'adresse suivante : https://agrosyst.fr/ (Jolys et al., 2016).

Dans AGROSYST, les entités procèdent un code (unique) et un identifiant (millésimé c'est à dire qui change chaque année). La description de ces entités se fait de façon millésimée. L'identification des cultures en mélanges d'espèces et de variétés est faite à partir de l'identifiant millésimé de la culture.

Il existe deux méthodes (ou approches) pour décrire les pratiques d'un système de culture dans AGROSYST :

- Approche réalisée : Pour un SdC donné, on décrit l'ensemble des itinéraires techniques de toutes les parcelles de ce SdC. Pour faire la synthèse de toutes les parcelles associées à ce SdC, on calcule les indicateurs (IFT par exemple) pour chaque parcelle puis on détermine la moyenne.
- Approche synthétisée : Pour un SdC donné, on déclare une rotation. Les itinéraires techniques sont décrits pour chaque terme de la rotation, et représentent parfois la synthèse de plusieurs parcelles cultivées avec la même culture, sur une ou plusieurs années.

2. Systèmes de Culture (SdC)

Le système de culture (SdC) est l'objet d'étude du système d'information AGROSYST. Il représente « un ensemble cohérent et ordonné de techniques culturales mises en œuvre sur un lot de parcelles conduites de la même façon, selon les mêmes principes de gestion et avec les mêmes objectifs, et ceci sur plusieurs années ». S'il y a plusieurs SdC dans une ferme DEPHY, l'un d'entre eux est suivi de façon plus détaillée dans le temps, notamment sur les objectifs de l'agriculteur, les techniques culturales mises en œuvre et les performances réalisées. L'exploitant agricole s'engage à diminuer l'usage de pesticides sur ce SdC tout en se procurant des moyens de le faire sur l'ensemble de sa ferme (CAN, 2018).

II. Problématiques et hypothèses

A. Problématiques

Le contexte général de notre étude nous a amène à formuler les questions de recherche suivantes :

- Comment caractériser les mélanges dans le réseau des fermes DEPHY ?
  Cette première question se décline, de façon détaillée comme suit :
  - Quelles sont les espèces qui sont les plus cultivées en mélange ?
  - Quelles sont les variétés qui sont les plus cultivées en associations ?
  - Est-ce-que les variétés cultivées en mélange sont majoritairement les même que celles cultivées en pure ?
- Dans quels types de fermes du réseau DEPHY sont cultivés les mélanges espèces et les variétés de blé tendre ?
- Quel est le niveau d'usage de produits phytosanitaires sur les cultures en mélanges d'espèces et de variétés, par rapport aux cultures pures équivalentes ?
- Dans quel type de systèmes de cultures trouve-t-on des espèces et de variétés avec des rotations diversifiées et longues ?

B. Hypothèses

Pour donner réponse à ce questionnement, nous avons émis les hypothèses suivantes :

Les produits phytopharmaceutiques et les fertilisants sont moins utilisés dans les mélanges que dans les cultures pures au sein du réseau des fermes DEPHY.

Les cultures en mélange dépendent du contexte de production en particulier de la présence de l'élevage dans l'exploitation.

Les variétés de blé tendre qui sont cultivées en mélanges sont différentes de celles qui sont cultivées en culture pure.

III. Matériels et méthodes

Dans cette étude, nous avons utilisé les données du réseau des fermes DEPHY des filières grandes cultures et polyculture-élevage. Nous avons utilisé des données exportées d'AGROSYST en Décembre 2020, qui couvrent la période de recueil de données de 2008 à 2020. Ce jeu de données est complexe, comportant au total 25 tables au format .csv, issues de requêtes de la base de données AGROSYST. Ces tables correspondent à deux types de données :

- Données 'brutes' (19 jeux de données) décrivant les exploitations, les SdC, et le détail des pratiques : tables « domaines », « SdC », « parcelles/zones », « cultures », « succession de culture », « interventions », « matériel », « intrants », « récoltes », etc., en distinguant les saisies au format 'Réalisé' et au format 'Synthétisé'.
- Données 'Performances' (6 jeux de données) calculées par Agrosyst, intégrant notamment le calcul des IFT, aux échelles des interventions, des parcelles, des cultures, des SdC, et des zones toujours en distinguant les saisies au format 'Réalisé' et au format 'Synthétisé'.

Les données sont anonymisées pour la protection des données personnelles, mais les tables 'Domaines' comporte l'information de la commune de l'exploitation, ce qui permet une géolocalisation approximative. Des identifiants des exploitations, SdC, cultures, interventions, intrants, etc., permettent de faire des jointures entre les tables. La structure du jeu de données est complexe et a nécessité un investissement important pour permettre leur valorisation. La première étape a été de filtrer les données pour ne conserver que les données des filières d'intérêt (grandes cultures et polyculture-élevage), pour réduire les temps de calcul des étapes ultérieures.

La table « cultures » permet d'identifier les mélanges d'espèces pour les cultures récoltées (principales ou dérobées, nous n'avons pas considéré les mélanges en cultures intermédiaires non récoltées). La règle que nous avons adoptée est qu'une culture est un mélange d'espèces lorsque la variable « espèces » comporte plusieurs espèces cultivées associées à l'identifiant d'une culture donnée. Nous avons créé la variable « mélange », qui prend alors la valeur « Mélange d'espèces ».

L'identification des mélanges de variétés est plus complexe, car la déclaration des cultures et des variétés se fait dans AGROSYST à l'échelle des exploitations : une culture 'Blé tendre' peut être associée à plusieurs variétés, qui sont dans la réalité cultivées en pur sur plusieurs parcelles différentes. Pour l'identification des mélanges de variétés de blé tendre, nous nous sommes fondés sur le nom affectée à la culture par l'utilisateur. La règle est qu'une culture de blé tendre est un mélange de variétés lorsqu'on a le mot mélange (écris de plusieurs façons dans AGRSYST et donc réduit à la chaine de caractère « lange ») dans la variable « culture » et qu'il y'a seulement le blé tendre renseigné comme espèce dans la variable « espèces ». Nous avons par la suite valorisé le résultat d'une enquête supplémentaire effectuée au sein du réseau des fermes DEPHY, permettant de déterminer avec précision si l'agriculteur cultive des mélanges de variétés de blé (mais cette enquête est malheureusement incomplète, avec un taux de réponse assez faible).

Après identification des mélanges d'espèces, nous avons établi une typologie de ces mélanges :

- Mélanges d'espèces à « grains » : toutes les cultures en mélanges où nous avons une intervention de récolte avec moissonneuses-batteuses et ou accessoires dans les tables interventions réalisée et synthétisé.
- Mélanges d'espèces fourragères annuels : qui comportent au-moins l'une des espèces annuelles suivantes : orge, pois, blé tendre, fèverole, seigle, épeautre, avoine, maïs et tournesol.
- Mélange colza : où colza est en mélange avec d'autres espèces annuelles.
- Mélanges fourragers pluriannuels : les cultures en mélange qui ne renferment pas l'une des espèces annuelles précitées.

Nous avons aussi différencié les cultures biologiques des conventionnelles dans le jeu de donnés « culture » à partir de la variable 'type_conduite_sdc'. La différenciation des données manquantes (sans information) dans cette variable a été effectuée sur la base des traitements avec les pesticides (IFT chimique total) : si IFT chimique total avec traitement de semences est nul pour une culture donnée, alors cette culture est biologique, sinon elle est conventionnelle. Les cultures biologiques étant pas traitées avec les produits phytosanitaires, nous les avons exclues des parties qui traitent les IFT.

Nous avons effectué un lien entre les mélanges d'espèces identifiés et les types d'ateliers d'élevage en faisant la jointure avec la table « atelier_élevage ».

Pour les cultures pures choisies (Blé tendre, colza et luzerne) qui servent à effectuer la comparaison des IFT et d'apports d'azote avec les mélanges d'espèces et de variétés, nous

avons sélectionné celles qui sont uniquement dans les départements où il y a des mélanges d'espèces ou de variétés afin de prendre en compte le contexte local, pédoclimatique et de production des systèmes de cultures, et s'affranchir ainsi autant que possible de l'effet de la situation de production sur le niveau d'utilisation des pesticides et d'apport azoté (Lechenet et al., 2016).

Pour le traitement des données, nous avons utilisé Excel et le logiciel R notamment pour faire la jointure entre les différents jeux de données via la fonction « merge » et le « library tidyverse ». Les tests statistiques sont réalisés avec ANOVA.

Le logiciel Qgis a été utilisé pour réaliser la cartographie des mélanges d'espèces, de la typologie de ces mélanges d'espèces et des mélanges de variétés de blé tendre à l'échelle des départements.

IV. Résultats

A. Mélanges d'espèces

La règle d'identification décrite ci-dessus nous a permis d'identifier 6327 cultures en mélanges d'espèces dans les exploitations des filières Grandes Cultures (GC) et Polyculture-Elevage (PE), sur la période de suivi (2008-2020). Ces mélanges d'espèces sont cartographiés sur la figure 2 ci-dessous. Ces cultures en mélange étant millésimées (possédant des identifiants qui changent par année), elles sont représentées plusieurs fois dans AGROSYST mais avec une seule localisation, ce qui explique un nombre important de mélanges d'espèces (6327) comparé au nombre de point (vert clair) représentant ces mélanges sur la figure.

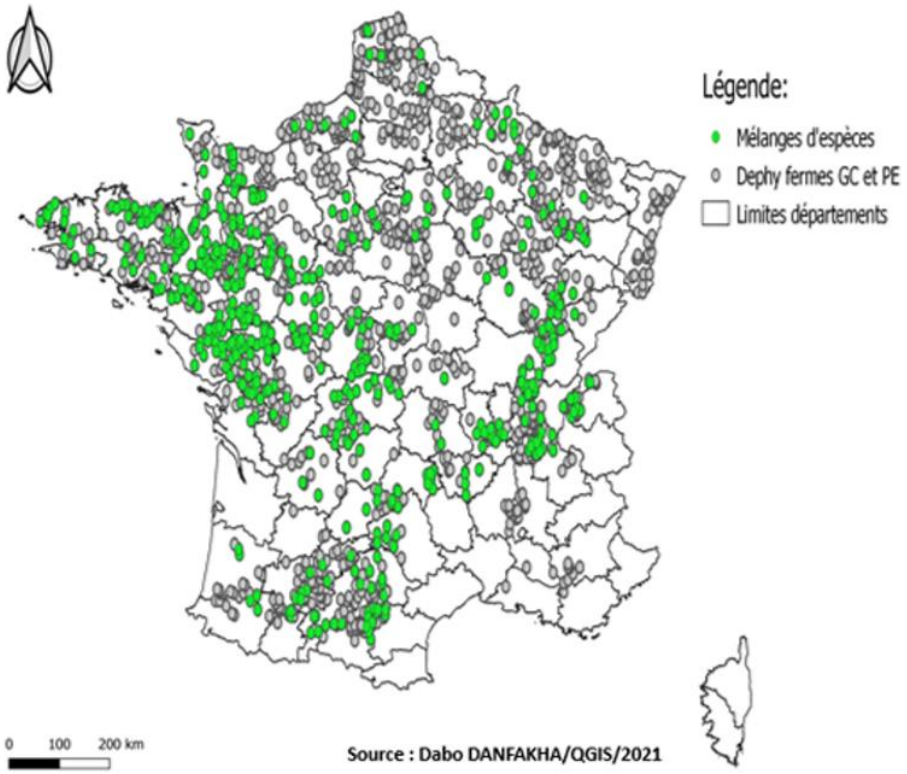


Figure 2 : Localisation des fermes DEPHY et des mélanges d'espèces en Grandes Cultures (GC) et Polyculture-Elevage (PE)

Les points gris l'ensemble des fermes DEPHY des filières Grandes Cultures (GC) et Polyculture-Elevage (PE) sans cultures en mélange d'espèces, et en vert clair tous les mélanges d'espèces que nous avons identifiés.

La localisation des mélanges d'espèces est plus importante dans certaines régions particulières notamment dans l'Ouest de la France, la partie nord – est, dans le Midi-Pyrénées et dans la région Bourgogne Franche-Comté etc. Ces régions correspondent, de fait, à des zones où la filière polyculture-élevage prédomine.

Nous avons par la suite identifié la part de l'agriculture biologique et conventionnelle dans ces mélanges d'espèces en GC et PE (figure 3 ci-dessous).

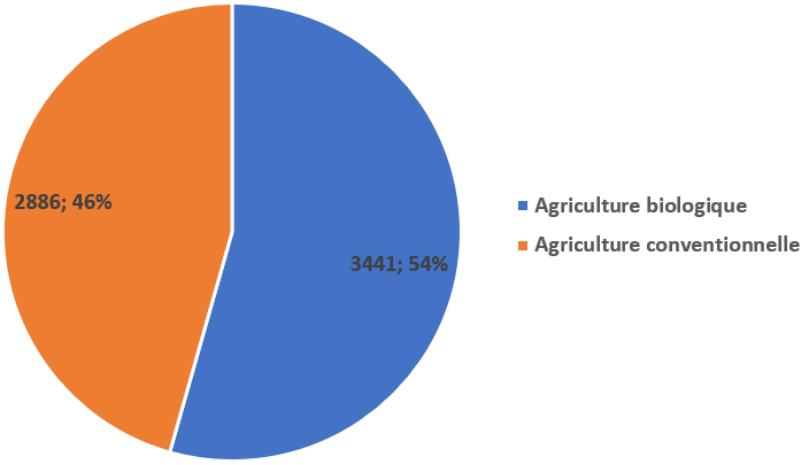


Figure 3 : Proportion de l'agriculture biologique et conventionnelle

La part de l'agriculture biologique représentant 3441 cultures en mélanges soit 54% des mélanges est relativement supérieure à celle de l'agriculture conventionnelle qui a un effectif de 2886 (soit 46%) des mélanges interspécifiques du réseau des fermes DEPHY en grandes cultures et polyculture-élevage.

1. Typologie des mélanges d'espèces

Après avoir identifié les cultures en mélanges d'espèces, nous avons subdivisé ces mélanges en quatre types de mélanges (appelé typologie) :

- Mélanges « colza », constitués de colza en association avec d'autres espèces.
- Mélanges d'espèce à « grain », composés d'espèces annuelles en mélange et récoltées pour leurs grains à l'aide de moissonneuse batteuse et ou accessoires.
- Mélanges fourragers annuels, qui contiennent des associations d'espèces annuelles récoltées pour leur fourrage (donc sans intervention d'une moissonneuse-batteuse)
- Mélanges fourragers pluriannuels, qui correspondent à des espèces en association qui ont une durée de vie de plus d'un an.

La distribution géographique de cette typologie des mélanges est représentée sur la figure 4 ci-dessous.

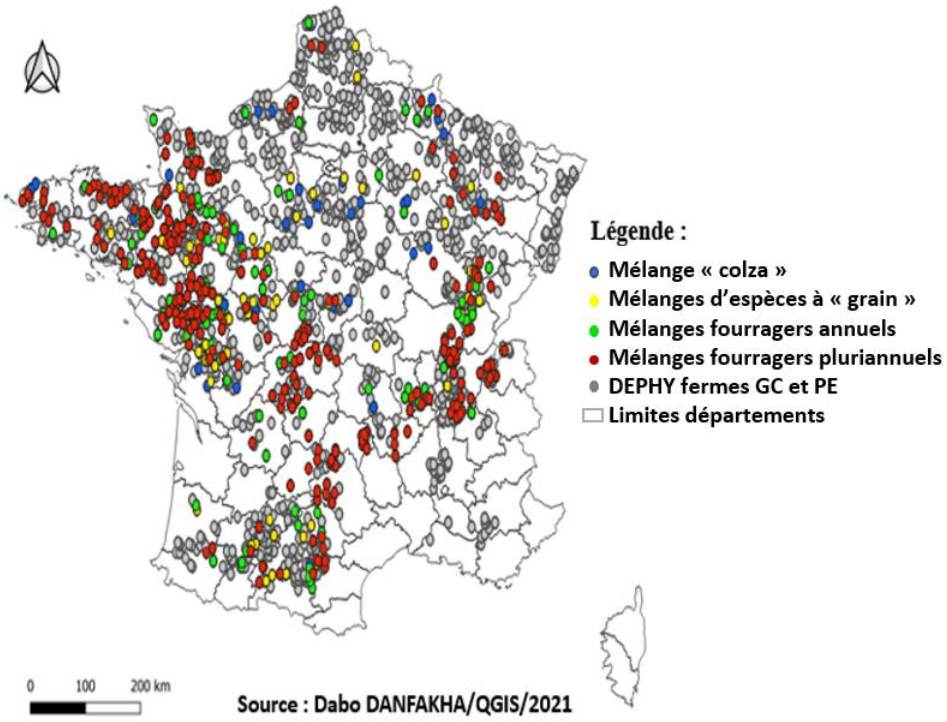


Figure 4 : Localisation des fermes DEPHY et typologie des mélanges d'espèces

Les différents types de mélanges ont une distribution qui correspondent de façon générale à des zones où la filière polyculture-élevage prédomine, à l'exception des mélanges de colza qui sont distribués de façon plus dispersée dans tout le pays notamment dans le centre, dans des régions plus « céréalières », dans lesquelles l'élevage est peu présent.

2. Caractérisation des mélanges d'espèces

Afin d'identifier les espèces qui sont les plus en mélanges dans la typologie des mélanges, nous avons effectué une représentation graphique en camembert qui met en évidence les espèces qui sont les plus associées dans chacun des quatre types de mélanges (figures 5, 6, 7 et 8).

a) Mélanges d'espèces à « grain »

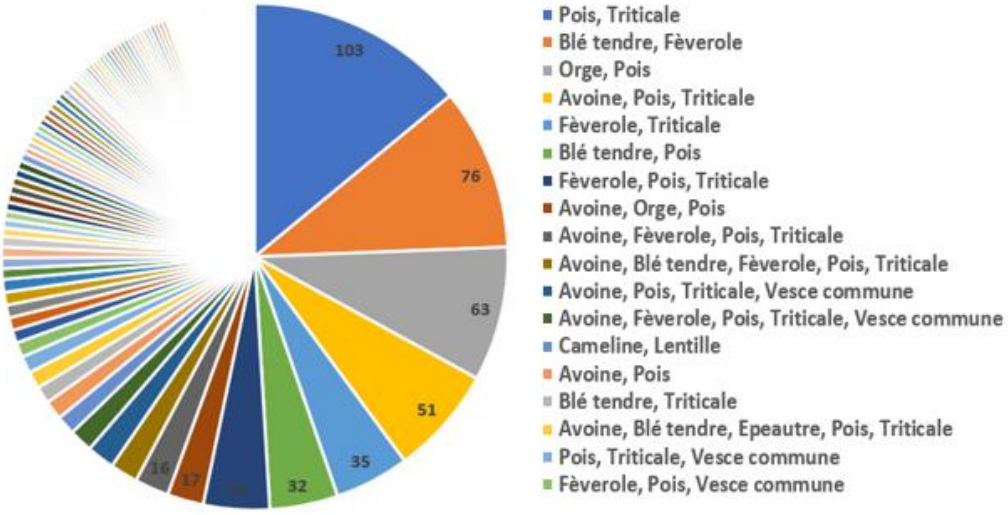


Figure 5 : Mélanges d'espèces à « grain »

Nous avons identifié 734 types différents de mélanges d'espèces à « grain » dans les fermes du réseau DEPHY. L'association pois-triticale est la plus représentée avec 103 occurrences, suivie du mélange blé tendre- fèverole (76) puis orge-pois (63). La très grande majorité des mélanges d'espèces à « grain » identifiés est composée d'au moins une espèce légumineuse et une espèce graminée.

b) Mélanges colza

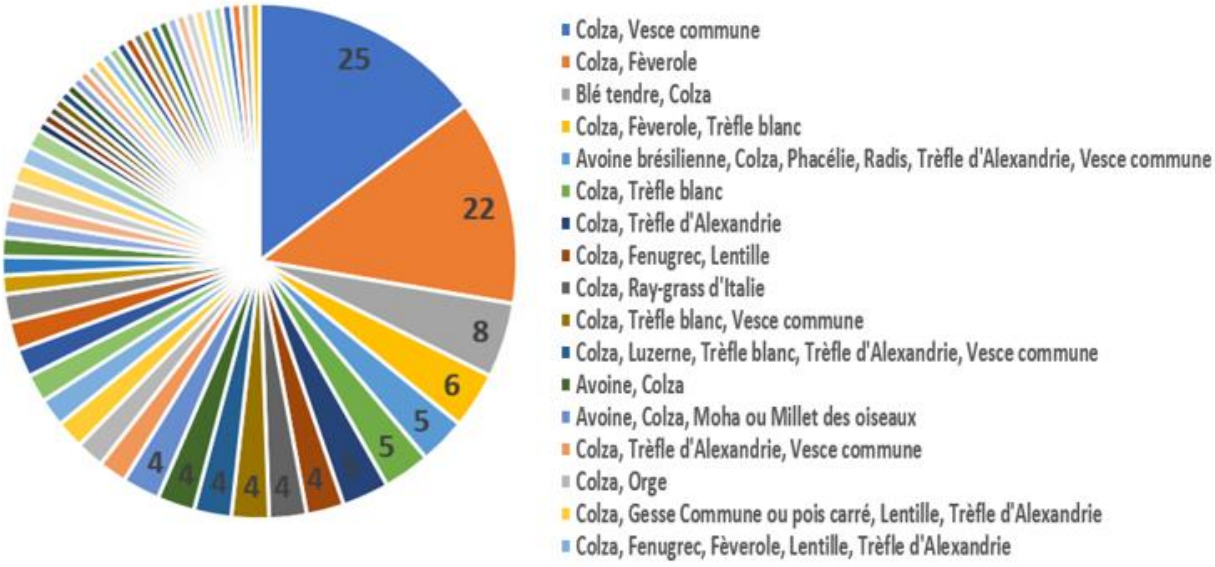


Figure 6 : Colza en mélange

170 types différents de mélanges colza sont identifiés. Les trois espèces qui sont les plus en association avec le colza sont la vesce commune (25), la fèverole (22) et le blé tendre (8). Il s'agit principalement d'espèces qui ne sont le plus souvent probablement pas récoltées, mais qui sont semées comme plantes compagnes de services, visant à étouffer les adventices, apporter de l'azote au système (dans le cas des légumineuses, ou servir de leurre contre les attaques de ravageurs. L'association avec le blé est étonnante : il s'agit probablement de repousses de la culture précédente, suffisamment abondante pour que l'agriculteur considère qu'il s'agit d'un mélange. Nous n'avons pas pu déterminer si dans ce cas le blé est récolté avec le colza ou non.

c) Mélanges d'espèces fourragères annuelles.

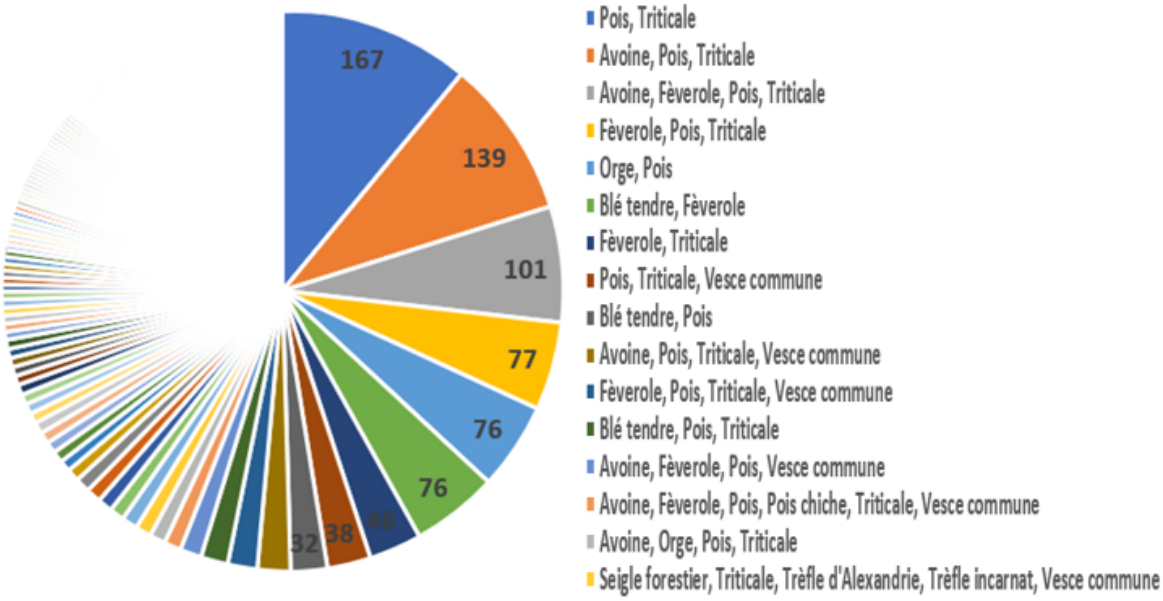


Figure 7 : Mélanges d'espèces fourragères annuelles

Les types différents de mélanges fourragers annuels dans les fermes du réseau DEPHY identifiés sont au nombre de 1518. Parmi les associations les plus représentées dans les mélanges d'espèces fourragères annuelles, nous avons identifié le pois – triticale (167 occurrences) suivis du mélange avoine – Pois – triticale (139) puis avoine – fèverole – pois – triticale (101). Ces mélanges d'espèces annuelles sont des cultures qui sont récoltées en « vert » soit pour de l'ensilage soit pour être donné directement aux animaux d'élevage.

d) Mélanges d'espèces fourragères pluriannuelles

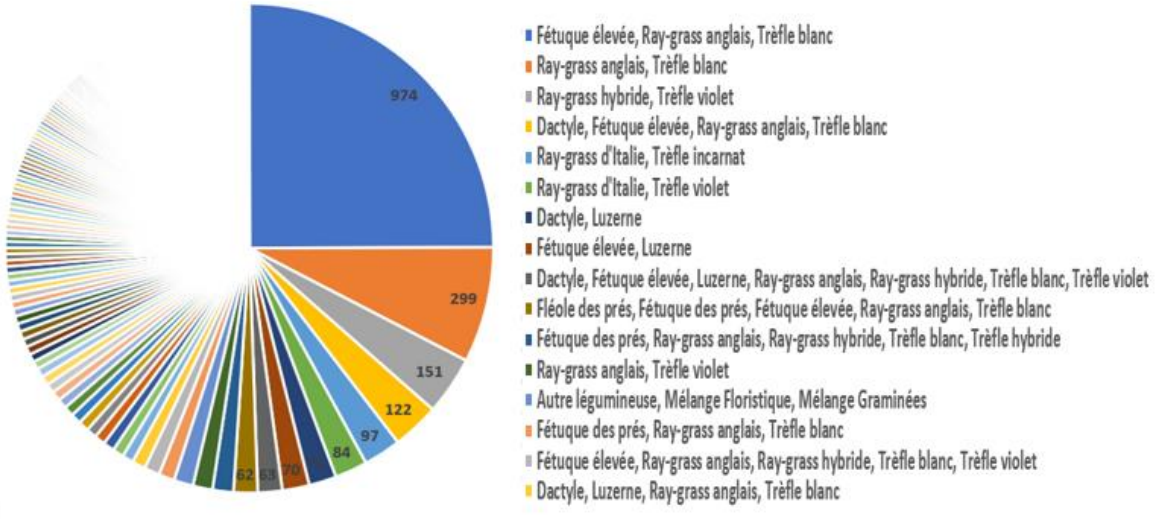


Figure 8 : Mélanges d'espèces fourragères pluriannuelles

Nous avons dénombré 3905 types différents de mélanges fourragers pluriannuels dans les fermes du réseau DEPHY. Nous avons une diversité taxonomique assez importante dans les

agrosystèmes prairiaux des fermes DEPHY. Les espèces fétuque élevée, ray-grass anglais, et trèfle blanc sont les plus en association dans les prairies (974 occurrences), suivies de ray-grass – trèfle blanc (299 occurrences) puis le ray-grass hybride – trèfle violet (151 occurrences).

Comme observé précédemment pour les mélanges d'espèces à « grain »**,** nous avons ici aussi au moins une légumineuse et une graminée sont en association dans chaque culture prairiale.

La proportion en agriculture biologique et conventionnelle de chaque typologie (mélanges d'espèces à « grain », colza en mélange, mélanges d'espèces fourragères annuelles et fourragères pluriannuelles) est représentée respectivement en Annexe 1, 2, 3 et 4. Les mélanges d'espèces à « grain » et fourragères annuelles sont principalement cultivés en agriculture biologique.

3. Association des cultures en mélanges d'espèces aux ateliers d'élevage

Nous avons cherché à vérifier le lien pressenti entre les cultures en mélanges d'espèces et les ateliers d'élevage, en distinguant les types d'atelier d'élevage. Afin d'identifier les types d'animaux élevés associés chaque typologie des mélanges d'espèces, nous avons réalisé un histogramme représenté sur la figure 9 suivante.

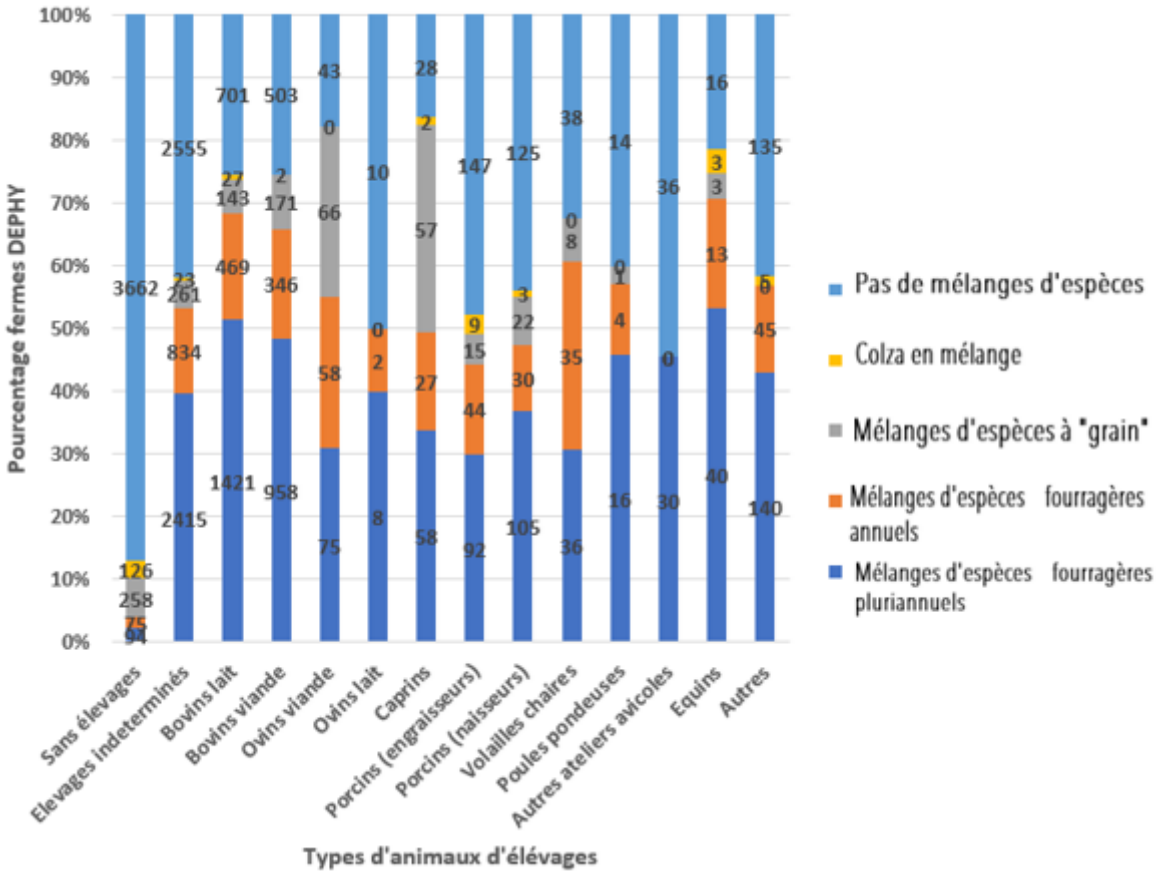


Figure 9 : Répartition des exploitations en fonction de leurs ateliers d'élevage et de la présence de cultures en mélange d'espèces

Les exploitations 'sans élevage' correspondent aux exploitations classées en grandes cultures qu'on ne retrouve pas dans le jeux données « ateliers d'élevages », et les élevages indéterminés sont les domaines (exploitations) considérés comme polyculture-élevage et qui ne sont pas renseignés dans la table « ateliers d'élevages » issu du système d'information AGROSYST. Les exploitations qui ne sont associées à aucune culture en mélange d'espèces sont classées

« pas de mélanges d'espèces ». Dans ce graphique, si une exploitation est associée à plusieurs ateliers d'élevage ou à plusieurs types de mélanges, alors cette exploitation est représentée plusieurs fois.

Les mélanges d'espèces sont beaucoup plus importants dans les exploitations avec élevage (notamment dans les exploitations avec bovins 'lait' et bovins 'viande', qui sont les plus nombreuses), en particulier (et c'est logique) pour les mélanges fourragers. Cependant, le colza cultivé en association avec des espèces compagnes qui ne sont pas forcément récoltées se retrouve plus fréquemment dans les exploitations sans élevage.

Nous avons par la suite refait cet histogramme en séparant les cultures biologiques des conventionnelles qui montre que mélanges d'espèces à « grain » et fourragères annuels sont majoritairement dans l'agriculture biologique alors que le colza est davantage cultivé en agriculture conventionnelle (Annexe 5).

4. Usage des pesticides en mélange d'espèces

Pour traiter l'utilisation des pesticides (IFT) dans les mélanges, nous n'avons sélectionné que les cultures conventionnelles. Les cultures biologiques n'étant pas traitées avec les pesticides sont donc exclus pour cette partie de l'étude.

a) Mélanges d'espèces à « grain », fourragers annuels et du blé tendre en pur.

Nous avons évalué l'usage de pesticides en mélange en les comparant à des cultures pures comparables (le blé tendre comme référence pour les mélanges d'espèces à « grain » et les mélanges fourragers annuels) qui sont uniquement dans les départements où il y a des mélanges d'espèces.

Les moyennes de l'IFT chimique total avec traitement de semence des mélanges fourragers annuels (1,93) et des mélanges d'espèces à « grain » (2,49) sont plus faibles par rapport à celle du blé tendre cultivé en pure (4,31) illustré sur la figure 10 ci-dessous. Le test statistique avec ANOVA confirme cette différence avec une significativité (***) importante entre le blé tendre pure monovariétal et les mélanges d'espèces à « grain » et fourragers annuels. Les mélanges d'espèces semblent avoir un effet bénéfique sur la diminution des IFT en agriculture conventionnelle.

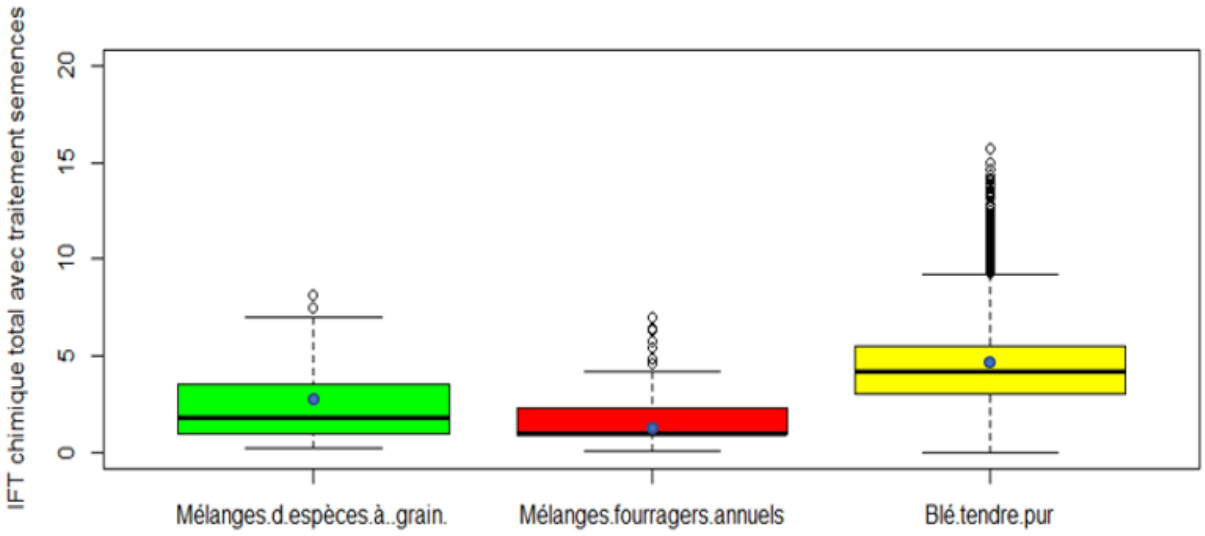


Figure 10 : IFT sur les cultures annuelles par types de conduites

b) Mélanges fourragers pluriannuels et la luzerne en pure

Pour la même raison que précédemment (s'affranchir autant que possible des effets de la situation de production), les cultures pures de luzerne (espèce pluriannuelle utilisée comme référence de comparaison pour les mélanges fourragers pluriannuels) sélectionnées correspondent à des départements où on trouve des mélanges d'espèces fourragères pluriannuelles.

Les valeurs de l'IFT chimique total avec traitement de semence des mélanges fourragers pluriannuels (comprises entre 0,001 et 4 et une moyenne de 0,90) est plus faibles que celles de la luzerne en pur (comprises entre 0,1 et 7,77 et une moyenne de 1,14 schématisée par le point bleu) en agriculture conventionnelle (figure 11). Le test statistique ANOVA est significatif (*).

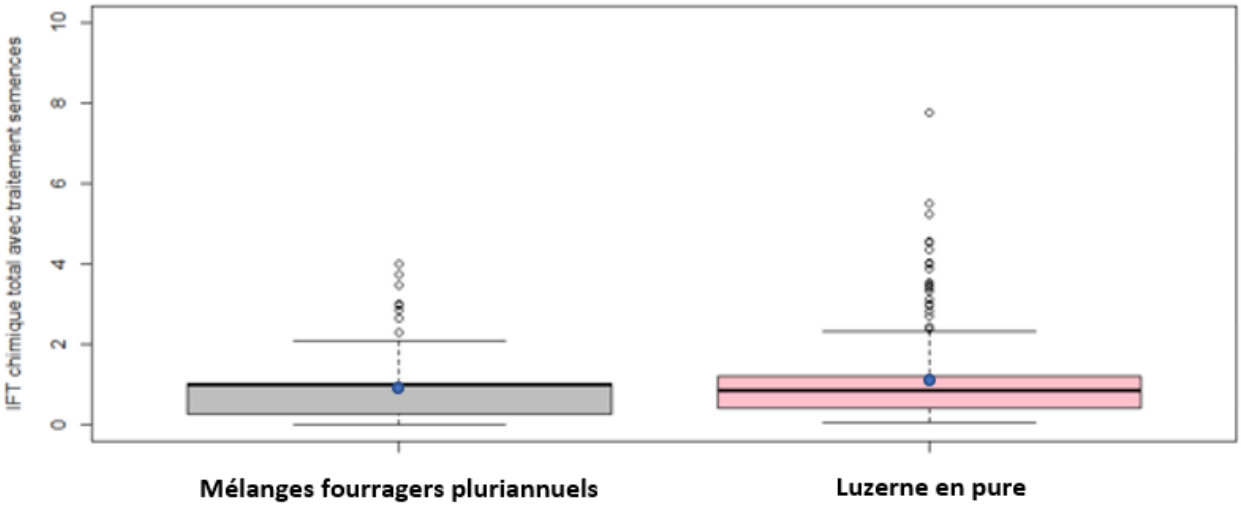


Figure 11 : IFT sur les cultures pluriannuelles par type de conduite

c) Colza cultivé en pur et en mélange

La fréquence de traitement du colza en mélanges se situant entre 0.24 et 9.43 avec une moyenne (point rouge) autour de 4.80 est relativement plus faible que celle du colza en pur qui a des valeurs comprises entre 0 et 13.78 et une moyenne de5.09. Le colza en mélange est donc moins traité que le colza en pure avec une différence significative (*), figure 12.

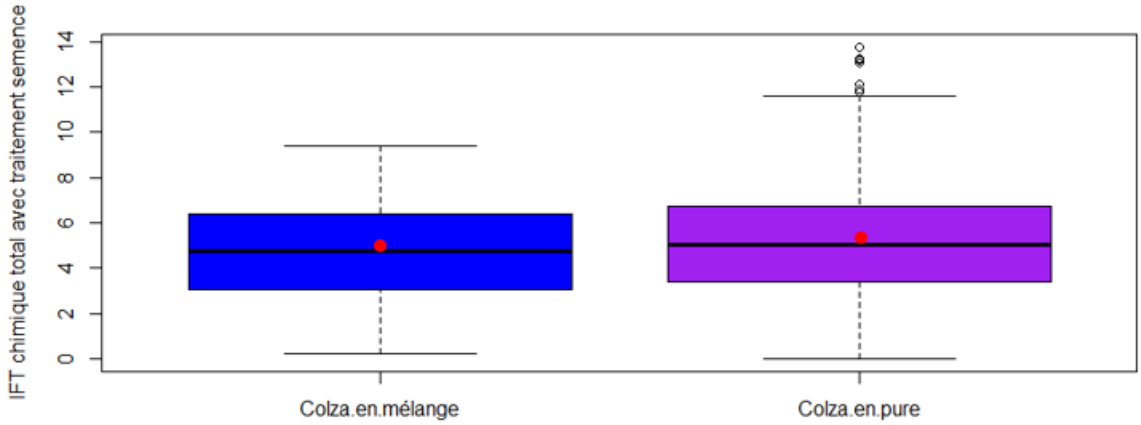


Figure 12 : IFT sur colza cultivé en pur et en mélange d'espèces

Les résultats montrent que, de façon générale, les cultures de colza en mélange reçoivent moins de traitement phytosanitaire que celles du colza cultivé en pur en agriculture conventionnelle.

Nous avons par la suite étudié à l'apport par famille de pesticides (fongicides, insecticides, herbicides) pour les mélanges d'espèces. La part de l'IFT fongicide est prise en comme exemple dans les annexes 7, 8, et 9.

5. Fertilisation azotée des mélanges

a) Mélanges d'espèces à « grain », fourragers annuels et du blé tendre en pur.

La quantité d'azote apportée (azote totale) sur l'ensemble de l'itinéraire technique d'une culture donnée correspond à la somme de l'azote minérale et organique par culture.

La moyenne de la quantité d'azote totale (minéral et organique) en mélanges d'espèces à « grain » est de 124 Kg/ha. Le blé tendre cultivé en pur reçoit en moyenne un apport en fertilisant azoté plus élevé (moyenne de 191 kg/ha). Les mélanges fourragers annuels ne reçoivent pour la plupart des cas pas d'engrais azotés (figure 13). La différence est très significative (***) entre les mélanges fourragers annuels d'un part et les mélanges d'espèces à « grain » et le blé tendre en pure d'autre part. Cette significativité est relativement faible (*) entre les mélanges d'espèces à « grain » et le blé tendre en pur.

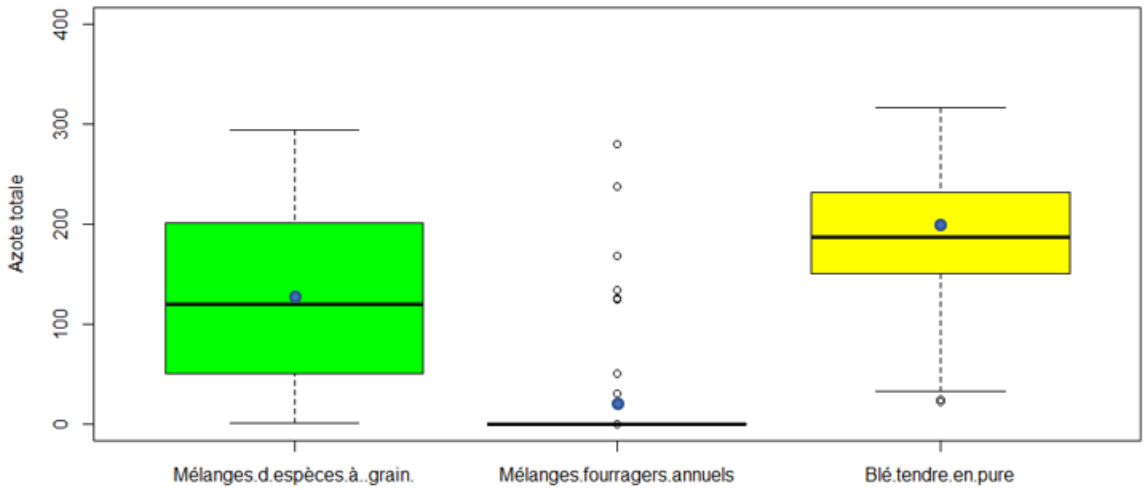


Figure 13 : Apport d'azote sur les cultures annuelles en fonction du type de conduite

b) Colza en mélange et en pur

Le colza cultivé en mélange avec d'autres espèces a une moyenne en apport d'azote totale de 144 kg/ha, inférieure à celle du colza cultivé en pure qui est de 185 kg/ha avec une différence peu significative (*), figure 14 ci-dessous.

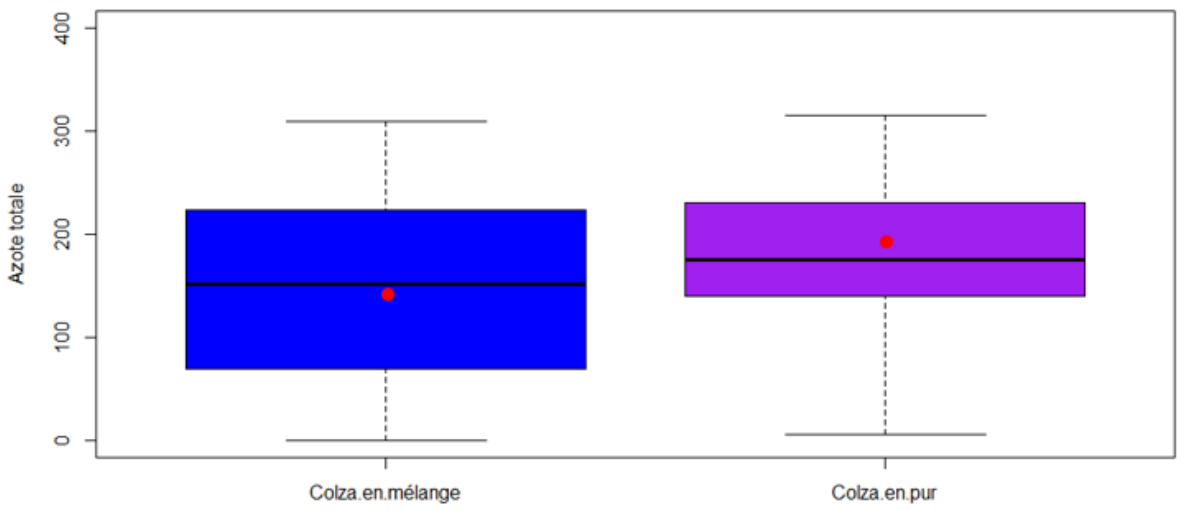


Figure 14 : Fertilisation azotée du colza cultivé en mélange d'espèces et en pure

Pour résumer sur l'apport d'azote, les mélanges interspécifiques reçoivent moins d'azote que les cultures pures.

B. Mélanges de variétés de blé tendre

1. Identification et localisation des mélanges de variétés de blé tendre

Nous avons identifié 187 occurrences de mélanges de variétés de blé tendre dans le réseau des fermes DEPHY des filières grandes cultures et polyculture-élevage. La géolocalisation de ces mélanges de variétés est représentée sur la figure 15. Certaines de ses 187 cultures (millésimées) en mélange de variétés ont une géolocalisation identique, ce qui explique une localisation (point bleu) peu nombreuse sur la carte ci-dessous.

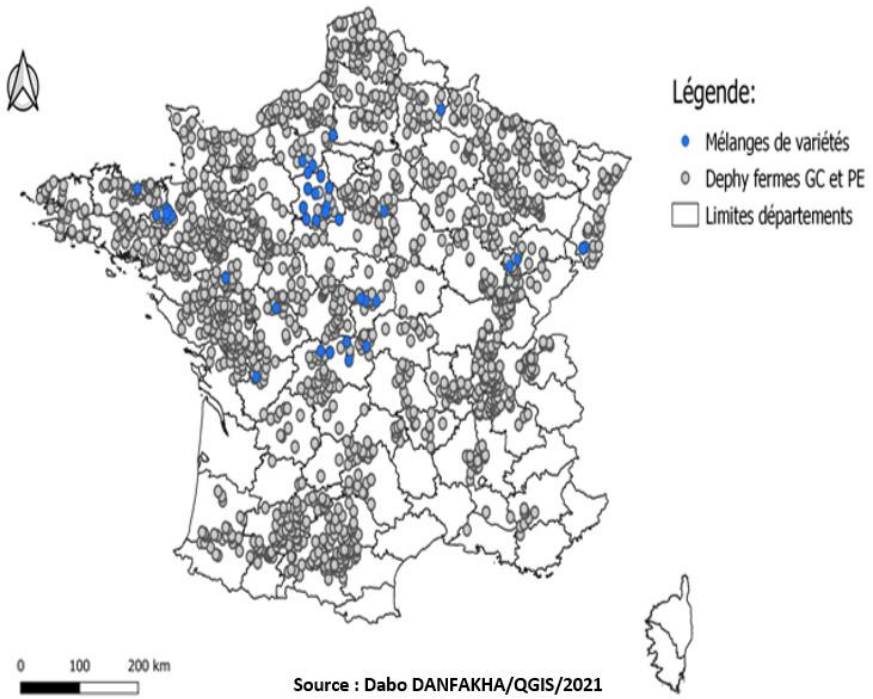


Figure 15 : Localisation des fermes DEPHY et des mélanges de variétés de blé tendre

Contrairement à ce qui a été observé pour les mélanges d'espèces, nous avons dans le cas-si des mélanges de variétés de blé tendre (en bleu) qui ne sont pas forcément regroupés dans les zones où la filière polyculture-élevage est développée, mais sont répartis de façon plutôt aléatoire et regroupée dans les départements comme l'Eure et Loir, le Cher, le nord de la Creuse etc. où la filière polyculture-élevage n'est pas très développée. Il pourrait y avoir un effet d'une communication entre agriculteurs d'une zone donnée (départements précités par exemple), qui pourraient en conséquence adopter ensemble une pratique qui peut se généraliser dans la zone concernée.

2. Variétés de blé tendre en culture pure et en mélange

Afin de distinguer les variétés de blé tendre les plus cultivées en mélange et en pur, nous avons réalisé une représentation graphique (en x, y) de 23 des 76 variétés cultivées à la fois en mélange de variétés et en culture pure (figure 16).

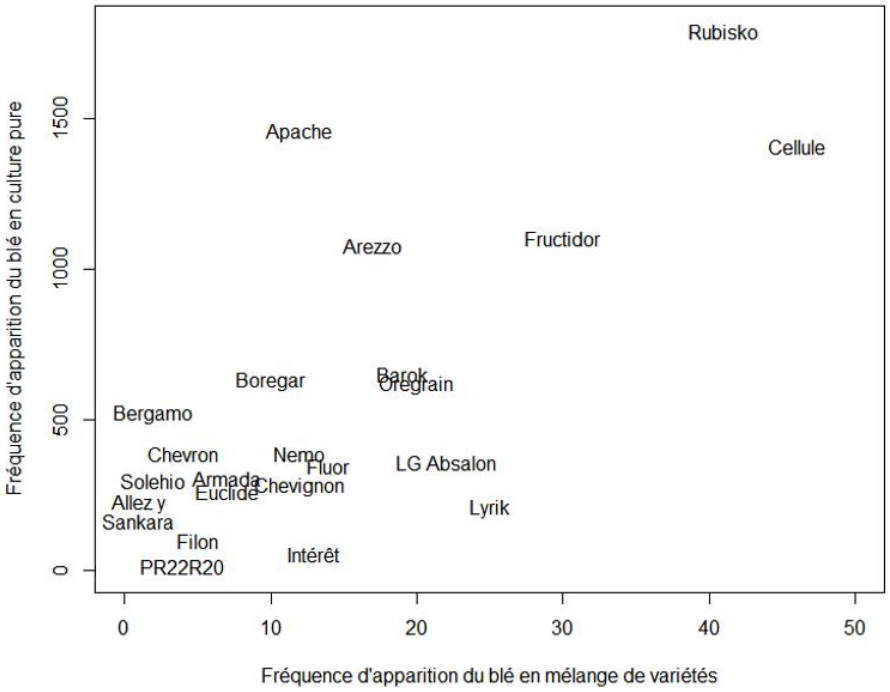


Figure 16 : Fréquence d'occurrence des variétés de blé tendre en mélange et en culture pure

Certaines variétés ont tendance à être majoritairement cultivées à la fois en mélange de variétés et en culture pure (Rubisko, Fructidor, cellule), d'autres sont plus cultivées en mélange de variété (LG Absalon, Lyrik, intérêt) et d'autres sont relativement moins cultivées en mélange alors qu'elles sont très fréquentes en pur (Apache). Ces résultats sont aussi observables dans la présentation graphique en camembert des variétés en mélange et en pur en Annexe 6.

3. Usage de pesticides en mélanges de variétés de blé tendre

Les cultures de blé tendre pur sélectionnées pour la comparaison avec celles du blé tendre en mélanges de variétés correspondent à celle qui sont dans les départements où le mélange de variétés est pratiqué afin de tenir compte de la situation de production.

Le blé tendre en mélange de variétés donne une moyenne d'IFT chimique total avec traitement de semence de 3,83 (schématisé par le point bleu) avec un minimum de 0 et un maximum de 10,23 ; le blé tendre cultivé en pur a une moyenne de 4,57 avec des valeurs comprises entre

0,01 et 14,97 (figure 17). Les tests statistiques avec ANOVA donnent un résultat significatif (*) entre le blé tendre cultivé en pure et en mélange de variétés.

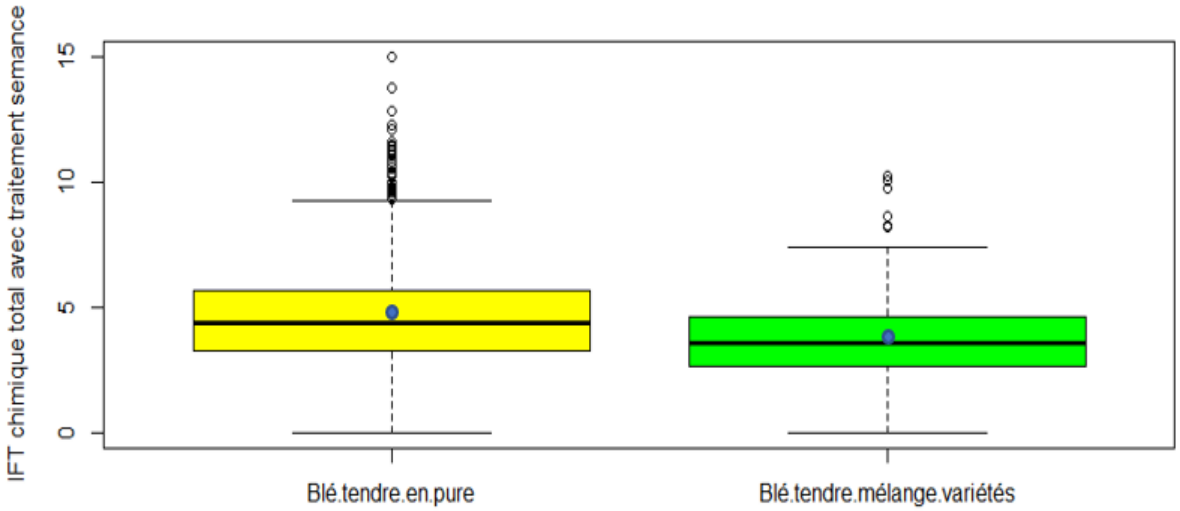


Figure 17 : Traitement en pesticides du blé tendre cultivé en pur et en mélange de variétés

Avec un IFT chimique total avec traitement de semence relativement faible, le blé tendre cultivé en mélanges de variétés reçoit moins de traitement avec les pesticides que le blé tendre cultivé en culture pure monovariétale. Comme pour le cas des mélanges d'espèces, nous avons traité l'apport en pesticides par famille de produits phytosanitaires pour le blé en mélange et en pur dont celui de l'IFT fongicide est mis en exemple dans l'annexe 10.

4. Apport d'azote sur blé tendre pur et en mélange de variétés

Le blé tendre en mélange de variétés reçoit moins d'intrant azoté avec une moyenne de 149 kg/ha comparé au blé tendre cultivé en pur qui a une valeur moyenne de 190 kg/ha avec une différence significative (*) représenté sur la figure 18.

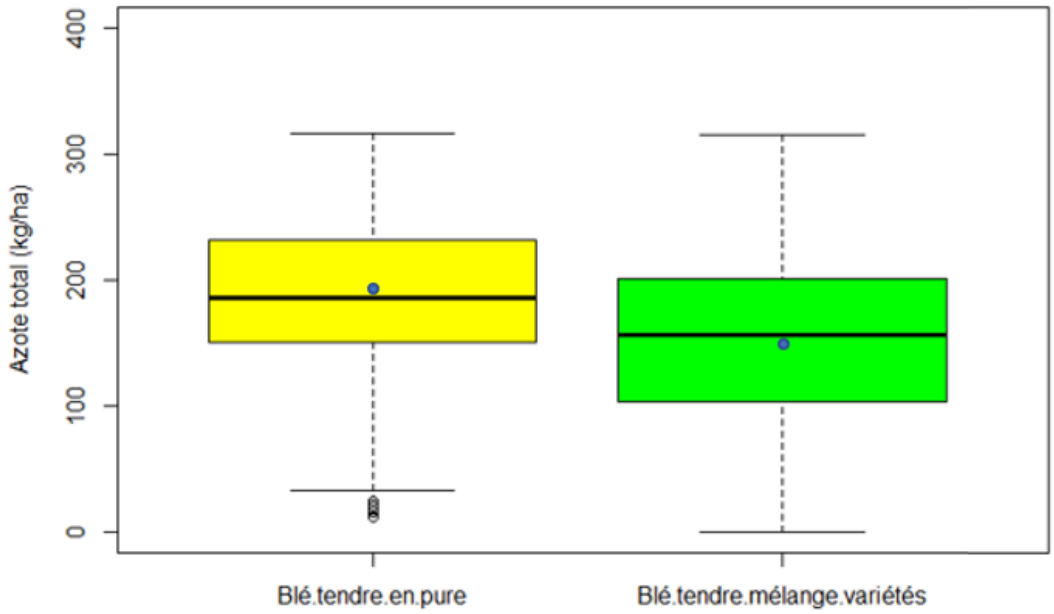


Figure 18 : Fertilisation en azote du blé tendre cultivé en pur et en mélange de variétés

Les cultures de blé tendre en mélange de variété ont un apport en intrant azoté total (minéral et organique) plus faible que le blé tendre cultivé en pur monovariétal.

V. Discussion

L'un des objectifs de cette étude était de caractériser les mélanges d'espèces et de variétés dans le réseau des fermes DEPHY, et d'étudier leur lien avec le niveau d'usage de pesticides et des fertilisants. Nos résultats montrent que ces mélanges ont un lien avec les apports en intrants chimiques en fonction des systèmes de cultures.

A. Mélanges d'espèces et la diminution des intrants chimiques

Dans un contexte de limitation des produits phytosanitaires, les mélanges d'espèces semblent être une voie d'optimisation possible pour l'agriculture de demain.

Les résultats de notre analyse nous permettent de déduire que les mélanges d'espèces au sein d'une exploitation semblent bien avoir un effet positif et significatif sur la réduction d'usage des produits phytopharmaceutiques (figure 10, 11, 12 et 17) et des fertilisants (figure 13, 14, et 18).

Les mélanges d'espèces identifiées sont majoritairement dominés par des espèces fourragères en polyculture-élevage, qui ne nécessitent généralement pas (ou très peu) de traitements phytosanitaires. Ces résultats confortent ceux de Lechenet et al. (2016) sur les mêmes données du réseau DEPHY, qui ont mis en évidence que les exploitations avec élevage ont moins recours aux intrants de synthèse. Outre leur qualité fourragère, ces espèces mélangées avec d'autres espèces cultivées peuvent avoir d'autres valeurs agronomiques telle que le contrôle des adventices au niveau du système de culture.

Les résultats positifs observés sur l'apport en azote sont dus au fait qu'il peut exister une complémentarité (en azote par exemple) entre espèces en association dans une culture. Des espèces différentes en association peuvent utiliser des ressources de façons distinctes dans le temps ou dans l'espace, interagir positivement et permettre une meilleure utilisation des ressources. En effet, nos résultats ont monté une part importante de l'association entre légumineuses (féverole, les pois, les trèfles, etc. par exemple) et graminées (ray-grass, dactyle, etc.) notamment pour les mélanges d'espèces à « grain » et fourragers pluriannuels. Cette association entre espèces légumineuses et céréalières (graminées), est plus pratiquée par les exploitants de la filière polyculture-élevage et joue rôle majeur dans la diminution d'intrants chimique. Grâce à leurs nodosités, ces légumineuses sont capables de fixer l'azote atmosphérique, qu'elles restituent dans le milieu après leur disparition. Cet azote devient alors réutilisable par les espèces non fixatrice (Chambre d'Agriculture d'Oise, 2018). Cette pratique de mélange d'espèces céréalières et légumineuses est aussi réalisée dans la culture intercalaire. Cette dernière qui peut, selon Hauggaard-Nielsen et al. (2007) améliorer et stabiliser les rendements, réduire les mauvaises herbes et les maladies des plantes et améliorer l'utilisation des ressources.

Au cours de ce travail, notre analyse a révélé que le colza est en association avec des espèces compagnes (plantes de service). Le rôle de ces espèces associées avec le colza est déterminant notamment par l'amélioration du contrôle des adventices sans réduire le rendement de la culture de vente (Colza). Ces plantes compagnes peuvent aussi fournir de l'azote dans le système pour le cas des légumineuses, perturber les ravageurs ou encore servir de plantes pièges pour les ravageurs (Enjalbert et al., 2019).

Les mélanges d'espèces peuvent, de façon générale avoir aussi un effet environnemental bénéfique, et donc un double intérêt, économique et environnemental (Rolland et al., 2003) sans pour autant affecter le rendement des cultures. En effet, les résultats de Lechenet (2017) réalisés sur les données du réseau DEPHY montrent que, dans la plupart des cas, les agriculteurs qui utilise de faible quantité de pesticides ont une rentabilité similaire voir même quelque fois supérieur à celle des autres agriculteurs du même réseau dans des situations de production similaires.

Cependant, ces résultats peuvent dépendre de l'échelle avec laquelle les études sont menées. Nicolas et Lechenet (2020) ont, en effet trouvé des résultats différents sur un même ensemble des fermes DEPHY en fonction de l'échelle choisi (échelle de la culture ou du système de culture), ce qui met en évidence l'importance du choix de l'échelle pour une meilleure analyse des performances agricoles. De plus, les conditions qui permettent d'aboutir à des situations de contrôle des adventices sans réduire le rendement dans le cas des mélanges (légumineux et céréaliers par exemple) doivent être approfondies pour encourager l'adoption de cette technique par les agriculteurs (Enjalbert et al., 2019).

Aussi, les mélanges d'espèces, si ne sont pas valoriser directement par les animaux de la ferme peuvent impacter la performance économique de l'exploitation notamment lors du tri post-récolte qui peut s'avérer assez coûteux pour l'agriculteur.

B. Impact des mélanges de variétés de blé tendre sur les pesticides et les fertilisants

Premier niveau de diversification, le mélange intraspécifique pendant le semis est une pratique qui commence à se généraliser en France notamment chez le blé. Cette progression de l'utilisation des mélanges variétales de blé est très récente en France et passe de 2% des surfaces en 2010 à plus de 8% en 2018 (Enjalbert et al., 2019).

Les mélanges de variétés de blé tendre sont considérés comme un des moyens de sécurisation des rendements tout en minimisant les impacts de l'agriculture sur l'environnement, et ont par conséquence tendance à intéresser de plus en plus d'exploitants agricoles. Les objectifs de ces mélanges sont la limitation de la pression en maladies foliaires en misant sur la complémentarité des variétés, la pression des ravageurs en concentrant leurs attaques sur des plantes pièges notamment pour les cultures de colza, la réduction des coûts liés aux intrants chimiques, la diversification des résistances variétales afin de limiter la progression des épidémies, la stabilisation du rendement d'une année sur l'autre et la gestion de la pression des ravageurs (chambre d'agriculture Gers, 2016). La complémentarité entre variétés peut permettre la résistance à certaines maladies comme les rouilles (Enjalbert et al., 2019) notamment par des effets de barrières à la dispersion et à la germination des spores, de compensation entre plantes saines et attaquées, etc. (Mundt, 2002).

Norte étude réalisée sur les données du réseau des fermes DEPHY a mis en évidence le rôle des mélanges de variétés sur la baisse significativement de l'IFT chimique totale avec traitement de semence en agriculture conventionnelle.

Cette diminution d'IFT peut être expliquée par le fait que les mélanges sont faits avec des choix de variétés spécifiques (figure 17), qui joueraient un rôle majeur notamment dans la lutte contre les maladies, diminuant ainsi les recours aux intrants. En effet, selon Vallavieille-Pope et al. (2016), le choix de variétés résistantes aux maladies et ravageurs constitue un levier technique important pour la réduction de la dépendance aux pesticides. Les études de Barot et al. (2017)

ont conclu qu'il serait particulièrement intéressant de développer des mélanges de variétés pour une agriculture multifonctionnelle à faible consommation d'intrants et que la sélection de variétés spécifiquement nouvelles pour les mélanges augmenterait particulièrement les performances des mélanges. Cette baisse peut, néanmoins être liée aussi l'engagements des agricultures du réseau des fermes DEPHY à réduire de façon significative le recours aux intrants chimiques.

Outre la baisse d'IFT, nous avons noté un apport en fertilisant azoté relativement faible des mélanges de variétés de blé tendre par rapport à la culture pure. Ces mélanges peuvent permettre une meilleure utilisation des éléments minéraux du sol, ce qui peut avoir des conséquences sur une baisse d'utilisation des fertilisants. La baisse de la fertilisation constitue, en effet un autre levier qui peut contribuer à atteindre l'objectif de réduction d'usage des pesticides.

Les mélanges de variétés de blé peuvent avoir aussi un impact positif et significatif sur les communautés sauvages associées notamment carabes prédateurs par exemple (Enjalbert et al., 2019) et qui peuvent jouer un rôle de lutte biologique contre les nuisibles (Chateil et al., 2013).

Cependant, Il existe quelques risques qui peuvent être associés à la pratique de ces mélanges de variétés principalement liés à la gestion de la qualité des grains à la récolte. En effet, dans les conditions défavorables, une variété sensible à la germination sur pied peut dégrader la qualité de toute une association ce qui aura pour conséquence d'impacter fortement la valeur du produit récolté. Les mélanges de variétés peuvent aussi causer des difficultés lors de la vente aux organismes stockeurs ce qui peut entrainer des problèmes d'ordre économique aux exploitants agricole. Certaines coopératives ne veulent, en effet pas de mélanges de variétés dans leur silo ce qui peut constituer un frein pour ces mélanges. Il est donc essentiel de gérer ces difficultés et disposer de règles pour l'assemblage des variétés afin d'éviter ces problèmes et permettre aux agriculteurs d'en faire plus.

Conclusion et perspectives

Depuis le début de la seconde moitié du XXème siècle, nous avons assisté à une augmentation d'utilisation des pesticides au niveau mondial. La France ne fait pas exception sur l'utilisation massive de ces produits phytopharmaceutiques.

Cette étude, menée dans le cadre d'un projet de recherche qui vise réduire de façon significative l'usage des produits phytosanitaires, voire arrêter leur utilisation, par la diversification des cultures, est réalisée sur les données collectées à l'échelle nationale du réseau des fermes DEPHY. Elle nous a permis d'identifier une large diversité de cas de cultures en mélanges d'espèces et de variétés.

Nous avons démontré, en prenant en compte le contexte local, que les IFT et les fertilisants azotés sont plus faibles pour les mélanges d'espèces et de variétés (pratiqués en grande partie en polyculture-élevage) que pour les cultures pures monovariétales, ce qui nous permet de confirmer nos deux premières hypothèses. La troisième hypothèse qui stipule que les variétés de blé tendre cultivées en mélanges et en pure sont différentes n'est totalement vérifiée car nous avons trouvés des variétés qui sont cultivées en mélanges et ou en pure.

De façon général, les mélanges d'espèces et de variétés nous semblent être une voie assez prometteuse pour réduire de façon significative l'utilisation des produits phytopharmaceutiques et des fertilisants azotés afin de répondre à l'appel de réduction de ces produits phytosanitaires de 50% fixé par le plan Ecophyto.

Cependant, ces mélanges d'espèces ne sont pratiqués plus largement que par les éleveurs du réseau DEPHY. Quant aux mélanges de variétés, ils ne sont pratiqués que par une faible

proportion d'agriculteurs, ce qui rend compte soit d'une mauvaise information sur les bénéfices à attendre de la culture en mélange de variétés, soit de contraintes qui limitent l'adoption de ce type de pratique (et probablement d'une combinaison des deux explications).

Il est aussi important de prendre en compte certains aspects des SdC à savoir, le travail du sol, la date de semis, les cultures précédentes, etc. qui peuvent impacter l'utilisation de produit phytosanitaires et de fertilisants.

Aussi, il serait intéressant d'aller plus loin dans l'étude notamment de l'association variétale, en étudiant de façon plus détaillée les caractéristiques des variétés choisies en mélange, surtout en termes de résistance aux maladies. De plus, étant donné que les informations sur le rendement existent sur le système d'information AGROSYST, il serait rassurant d'étudier la productivité de ces mélanges d'espèces et de variétés ainsi que leur performance économique, afin de faire un lien entre réductions de pesticides et rentabilité à l'échelle des systèmes de culture. La performance économique est en effet un critère majeur déterminant pour l'adoption des pratiques innovantes par les exploitants agricoles.

Bibliographie

Altieri, M. A. (1999). The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agriculture Ecosystems & Environment*, *74*(1-3), 19-31. https://doi.org/10.1016/S0167-8809(99)00028-6

Aubertot, J.-N., Barbier, J.-M., Carpentier, A., Gril, J.-N., Guichard, L., Lucas, P., Savary, S., & Voltz, M. (2007). *Pesticides, agriculture et environnement. Réduire l'utilisation des pesticides et en limiter les impacts environnementaux. Expertise scientifique collective Inra-Cemagref (décembre 2005)*.

Charlier, C. J., & Plomteux, G. J. (2002). Determination of organochlorine pesticide residues in the blood of healthy individuals. *Clinical Chemistry and Laboratory Medicine*, *40*(4), 361-364. https://doi.org/10.1515/CCLM.2002.058

Chateil, C., Goldringer, I., Tarallo, L., Kerbiriou, C., Le Viol, I., Ponge, J.-F., Salmon, S., Gachet, S., & Porcher, E. (2013). Crop genetic diversity benefits farmland biodiversity in cultivated fields. *Agriculture Ecosystems & Environment*, *171*, 25-32. https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.03.004

Enjalbert, J., Litrico, I., Fournier, E., Médiène, S., Gauffreteau, A., Borg, J., HELLOU, G., Goldringer, I., Hanachi, M., Journet, E.-P., Justes, E., Morel, J.-B., Naudin, C., Sanguin, H., Morison, M., Verret, V., & Bedoussac, L. (2019). *Mélanges variétaux et mélanges plurispécifiques – atouts et contraintes*. *75*, 49-71. https://doi.org/10.15454/ak5jpd

Guichard, L., Mignolet, C., & Schott, C. (2017). *Utilisation des produits phytosanitaires en France : Bilan synthétique des pratiques et de leurs évolutions*. 6.

Hajjar, R., Jarvis, D. I., & Gemmill-Herren, B. (2008). The utility of crop genetic diversity in maintaining ecosystem services. *Agriculture Ecosystems & Environment*, *123*(4), 261-270. https://doi.org/10.1016/j.agee.2007.08.003

Hauggaard-Nielsen, H., Jørnsgaard, B., Kinane, J., & Jensen, E. (2008). Grain legume - Cereal intercropping : The practical application of diversity, competition and facilitation in arable and organic cropping systems. *Renewable Agriculture and Food Systems*, *23*, 3-12. https://doi.org/10.1017/S1742170507002025

Ijaz, M., Nawaz, A., Ul-Allah, S., Rizwan, M. S., Ullah, A., Hussain, M., Sher, A., & Ahmad, S. (2019). Crop Diversification and Food Security. In M. Hasanuzzaman (Éd.), *Agronomic Crops, Vol 1 : Production Technologies* (p. 607-621). Springer-Verlag Singapore Pte Ltd. https://doi.org/10.1007/978-981-32-9151-5_26

Jolys, O., Dubuc, M., ANCELET, E., & Munier-Jolain, N. (2016). *Agrosyst : Guide de l'utilisateur. Décembre 2016, version 2.1*. https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01604030

Lechenet, M., Dessaint, F., Py, G., Makowski, D., & Munier-Jolain, N. (2017). Reducing pesticide use while preserving crop productivity and profitability on arable farms. *Nature Plants*, *3*(3), 17008. https://doi.org/10.1038/nplants.2017.8

Lechenet, M., Makowski, D., Py, G., & Munier-Jolain, N. (2016). Profiling farming management strategies with contrasting pesticide use in France. *Agricultural Systems*, *149*, 40-53. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2016.08.005

Macfadyen, S., & Bohan, D. A. (2010). Crop domestication and the disruption of species interactions. *Basic and Applied Ecology*, *11*(2), 116-125. https://doi.org/10.1016/j.baae.2009.11.008

Martel, G., Aviron, S., Joannon, A., Lalechere, E., Roche, B., & Boussard, H. (2019). Impact of farming systems on agricultural landscapes and biodiversity : From plot to farm and landscape scales. *European Journal of Agronomy*, *107*, 53-62. https://doi.org/10.1016/j.eja.2017.07.014

Mundt, C. (2002). Use of multiline cultivars and cultivar mixtures for disease management. *Annual review of phytopathology*, *40*, 381-410. https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.40.011402.113723

Munier-Jolain, N., & Lechenet, M. (2020). Methodological considerations for redesigning sustainable cropping systems : The value of data-mining large and detailed farm data sets at the cropping system level. *Frontiers of Agricultural Science and Engineering*, *7*(1), 21-27. https://doi.org/10.15302/J-FASE-2019292

Riedo, J., Wettstein, F. E., Rosch, A., Herzog, C., Banerjee, S., Buchi, L., Charles, R., Wachter, D., Martin-Laurent, F., Bucheli, T. D., Walder, F., & van der Heijden, M. G. A. (2021). Widespread Occurrence of Pesticides in Organically Managed Agricultural Soils-the Ghost of a Conventional Agricultural Past? *Environmental Science & Technology*, *55*(5), 2919-2928. https://doi.org/10.1021/acs.est.0c06405

Rolland, B., Bouchard, C., Loyce, C., Meynard, J.-M., Guyomard, H., Lonne, P., & DOUSSINAULT, G. (2003). Des itinéraires techniques à bas niveaux d'intrants pour des variétés rustiques de blé tendre : Une alternative pour concilier économie et environnement. *Le Courrier de l'environnement de l'INRA*, *49*(49), 47-62.

Sonoda, S., Izumi, Y., Kohara, Y., Koshiyama, Y., & Yoshida, H. (2011). Effects of pesticide practices on insect biodiversity in peach orchards. *Applied Entomology and Zoology*, *46*(3), 335-342. https://doi.org/10.1007/s13355-011-0041-2

Tilman, D., Cassman, K. G., Matson, P. A., Naylor, R., & Polasky, S. (2002). Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*, *418*(6898), 671-677. https://doi.org/10.1038/nature01014

Vallavieille, C. P. de, Saint-Jean, S., Gigot, C., Huber, L., Leconte, M., Maumené, C., Cheyron, P. D., Couleaud, G., & Kerhornou, B. (2016). Concevoir des associations variétales de blé pour réduire la progression épidémique de la septoriose : Approche théorique et expérimentations au champ. *Undefined*. https://www.semanticscholar.org/paper/Concevoir-des-associations-vari%C3%A9tales-de-bl%C3%A9-pour-%3A-Vallavieille-Saint-Jean/a7e24cffe67c61cc364308056f903c46797b5ce5

Wezel, A., Casagrande, M., Celette, F., Vian, J.-F., Ferrer, A., & Peigne, J. (2014). Agroecological practices for sustainable agriculture. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, *34*(1), 1-20. https://doi.org/10.1007/s13593-013-0180-7

Webographie

AGROSYST. (2017). Guide d'utilisateur Agrosyst. [Consulté en Mars 2021] https://agrosyst.fr/demo-test/commons/help-raw.action?file=/demo-test/help/guide_utilisateur.pdf

Cellule d'Animation Nationale DEPHY. (2018). Le réseau DEPHY FERME 3000 agriculteurs engagés dans la réduction des phytos, Novembre 2018. France : Réseau DEPHY – ferme. 30 p. http://www.ecophytopic.fr/sites/default/files/Reseau_FERME_2018_VF_num.pdf

Chambre d'agriculture. (2016). Les cultures associées / les mélanges variétaux. Chambre d'agriculture Gers. 02 p. [Consulté en juillet 2021] https://gers.chambre-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/Occitanie/067_Inst-Gers/documents/grandescultures/Techniques_culturales_innovantes/fiche_techniques_culturales/Les_cultures_associe__es_-_les_me__langes_varie__taux.pdf

Chambre d'agriculture. (2018). Améliorer les performances de vos parcelles avec les associations de culture. Chambre d'Agriculture Oise. 20 p. [Consulté en Juillet 2021] https://hautsdefrance.chambre-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/National/FAL_commun/publications/Hauts-de-France/Note_technique_-_Cultures_associees.pdf

Ministère de l'agriculture de l'alimentation. (2021). Maîtrise des produits phytosanitaires (pesticides). [Consulté en Juillet 2021] https://agriculture.gouv.fr/maitrise-des-produits-phytosanitaires-pesticides

Ministère de l'agriculture de l'alimentation et de la forêt France. (2008). Plan Ecophyto 2018. Paris (France) : MAAF. 21 p. [Consulté en Mars 2021] https://agriculture.gouv.fr/ministere/le-plan-ecophyto-2018

Ministère de l'agriculture de l'agro-alimentation et de la forêt France. (2015). Plan Ecophyto II. Paris (France) : MAAF. 67 p. [Consulté en Mars 2021] https://agriculture.gouv.fr/sites/minagri/files/151022_ecophyto.pdf

Ministère de la transition écologique et solidaire. (2018). Plan Ecophyto 2. Paris (France) : MTES. 66 p. [Consulté en Mars 2021] https://solidarites-sante.gouv.fr/IMG/pdf/plan_ecophyto2_.pdf

Parlement Européen. (2009). Directive 2009/128/CE du parlement européen et du conseil du 21 octobre 2009. Journal officiel de l'Union européenne, n. L 309, 50 p. [Consulté en Mars 2021] https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:309:0001:0050:FR:PDF

Réseau PIC. (2012). Le système d'information AGROSYST. [Consulté en Juillet 2021] https://www6.inrae.fr/reseau-pic/Presentation-du-reseau-PIC/Axe-2-Reseau-des-dispositifs-experimentaux-PIC/Projets/Le-systeme-d-information-AGROSYST

Résumé :

Pour diminuer les effets négatifs de l'usage excessif des pesticides sur l'environnement, la biodiversité et la « santé humaine et animale » dans l'agriculture, la France a lancé le plan Ecophyto qui a permis la création du réseau des fermes DEPHY. Notre étude porte sur les données de 2008 à 2020 de ce réseau impliqué dans la réduction d'utilisation des pesticides.

Cette étude cherche à caractériser les différents mélanges d'espèces et de variétés de ce réseau en grandes cultures et polyculture-élevage ; et de faire un lien entre ces mélanges et la réduction d'usage des pesticides et d'intrant azoté.

Après avoir identifié et cartographier cette diversité intra et interspécifique, nous avons effectué une typologie de ces mélanges d'espèces (mélanges d'espèces à « grain », fourragers annuels, fourragers pluriannuels et en mélange colza). Nous nous sommes basés sur l'indicateur de fréquence de traitement (IFT) déjà calculé dans le système d'information AGROSYST et les apports de fertilisant azoté afin de réaliser une étude comparative d'usage de pesticides et d'apport en azote entre ces mélanges et les cultures pures.

Les résultats montrent un faible usage des pesticides et de fertilisant azotée des mélanges d'espèces et de variétés avec une différence significative par rapport aux cultures pures.

Mots-clés : *Réseau de fermes DEPHY, pesticides, diversification, mélanges d'espèces, mélanges de variétés.*

Title : ***Reducing pesticide use through crop diversification : Analysis of the solutions proposed by the DEPHY farms network for 'Field crops' and 'Crop-livestock farming'***

Abstract :

To reduce the negative effects of excessive pesticide use on the environment, biodiversity and "human and animal health" in agriculture, France has launched the Ecophyto plan, which led to the creation of the DEPHY farm network. Our study focuses on the data from 2008 to 2020 of this network involved in the reduction of pesticide use.

This study seeks to characterise the different mixtures of species and varieties in this network for field crops and mixed farming; and to make a link between these mixtures and the reduction of pesticide and nitrogenous inputs.

After identifying and mapping this intra- and inter-specific diversity, we carried out a typology of these species mixtures (grain species mixtures, annual forages, multi-annual forages and rapeseed mixtures). We used the treatment frequency indicator (TFI) already calculated in the AGROSYST information system and nitrogen fertiliser inputs to carry out a comparative study of pesticide use and nitrogen inputs between these mixtures and pure crops.

The results show a low use of pesticides and nitrogen fertiliser in mixtures of species and varieties with a significant difference compared to pure crops.

Keywords : *DEPHY farms network, pesticides, diversification, species mixtures, varieties mixtures.*

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier du fond du cœur Monsieur Nicolas MUNIER-LOLAIN pour ses qualités professionnelles, pour m'avoir guidé tout au long de ce parcours. Merci pour tout.

Je remercie également à l'ensemble de l'équipe du projet MoBiDiv, Emmanuelle PORCHER (MNHN), Philippe MARTIIN (SADAPT) et Marco CAROZZI pour leur encadrement tout au long de ce stage.

Je tiens à remercier aussi mes collègues stagiaires du projet MoBiDiv, Stéphanie DEWITTE et Tom TERBRÜGGEN, avec qui j'ai pris beaucoup de plaisir à partager.

Merci à la doctorante Sarah LECAULLE pour ses conseils et son aide dans la réalisation de ce travail.

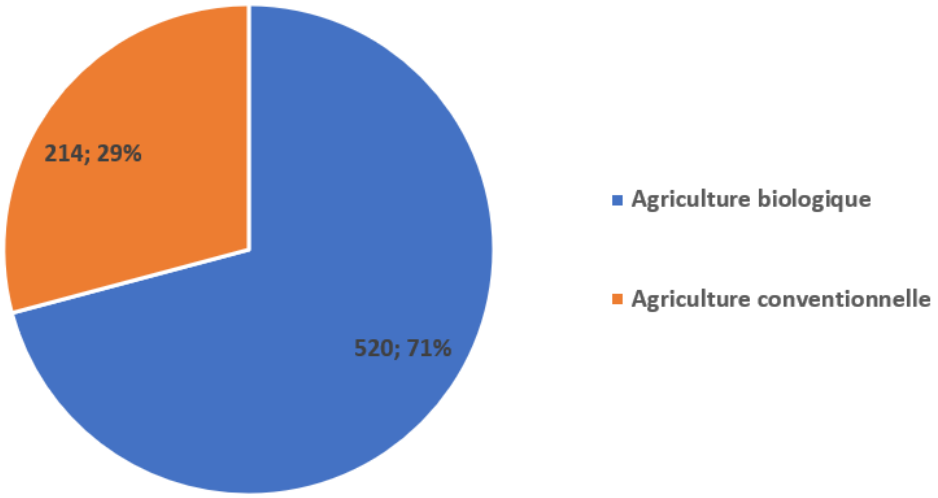
Un merci également l'ensemble du personnel de UMR Agroécologie-Dijon de m'avoir donné l'occasion de partager mon travail.

Je tiens également à exprimer mes remerciements aux responsables du Master AETPF en particulier à Nadia MICHEL, Sylvain PLANTUREUX, Bruno FERRY, Alice MICHELOT-ANTALIK ainsi qu'à mon enseignant référent Séverine PIUTTI de m'avoir donnée l'opportunité de suivre ce master très enrichissant et de m'avoir accompagné dans mes recherches de stages.

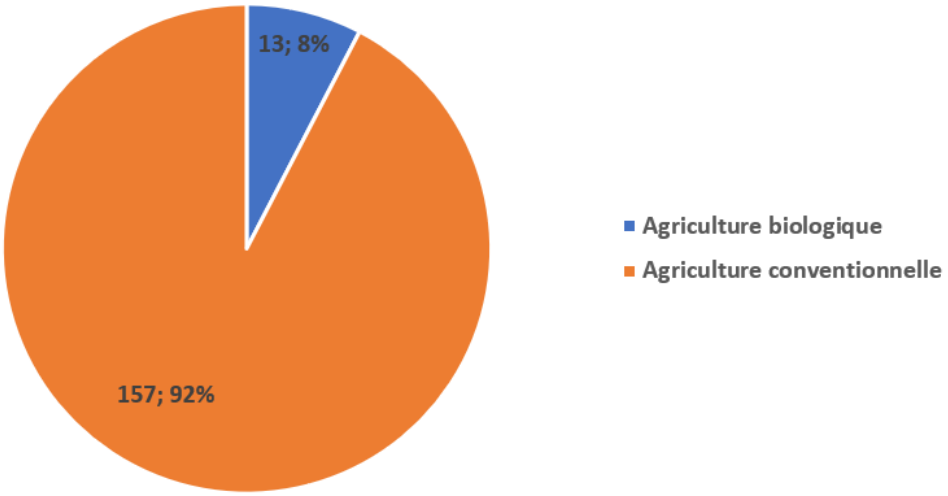
J'adresse mes plus sincères remerciements toute ma famille, ma mère, mes frères et sœurs pour leur soutien et leur foi indéfectible en moi.

En fin, je finis par remercier tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la réussite du présent travail.

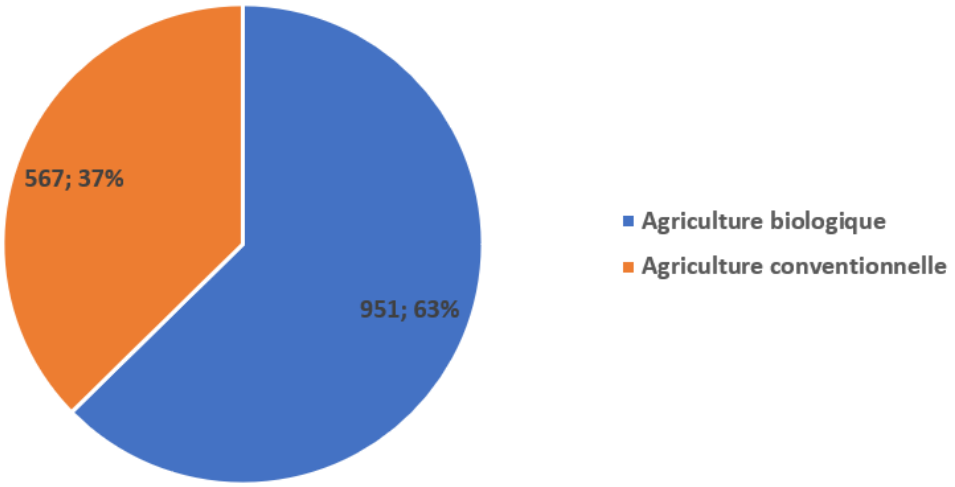
Annexes



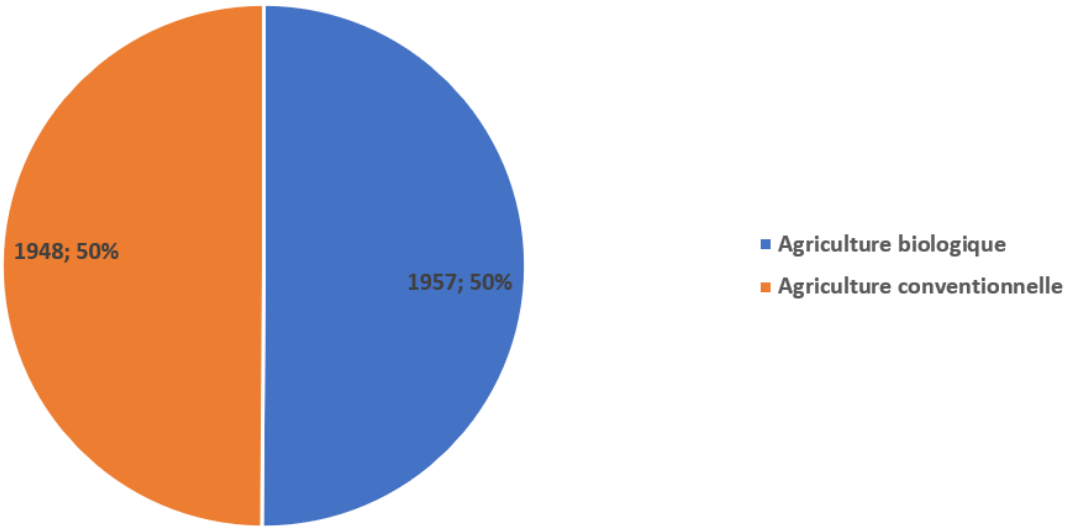
Annexe 1 : Mélanges d'espèces à « grain » en agriculture biologique et en conventionnelle



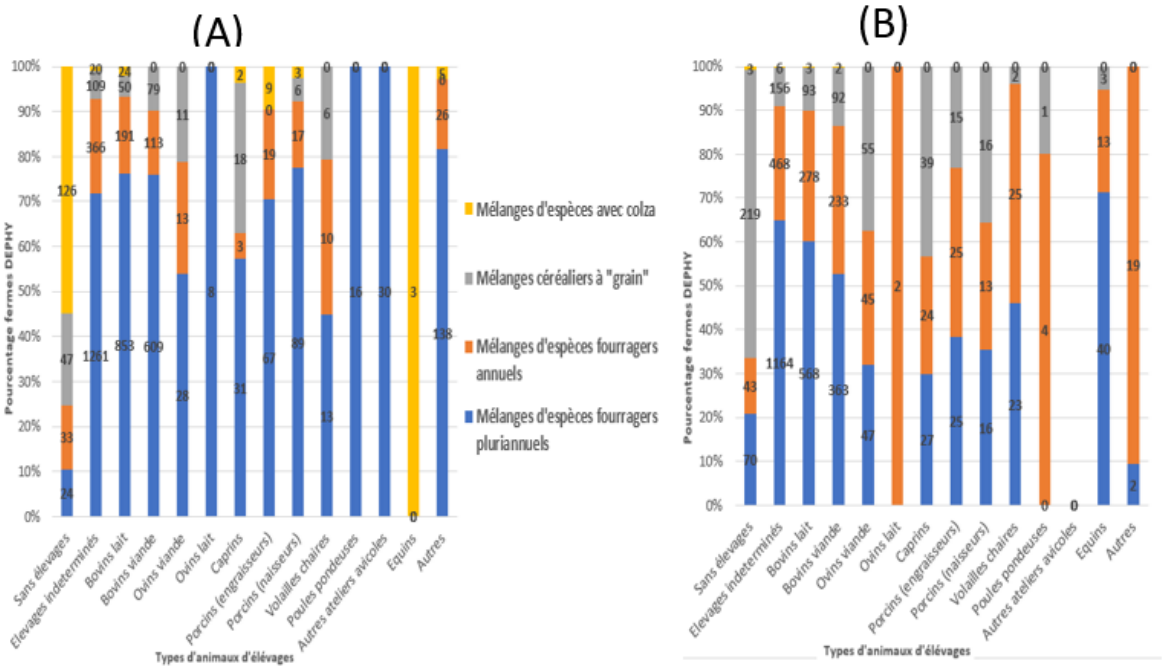
Annexe 2 Colza en mélange en agriculture biologique et conventionnelle



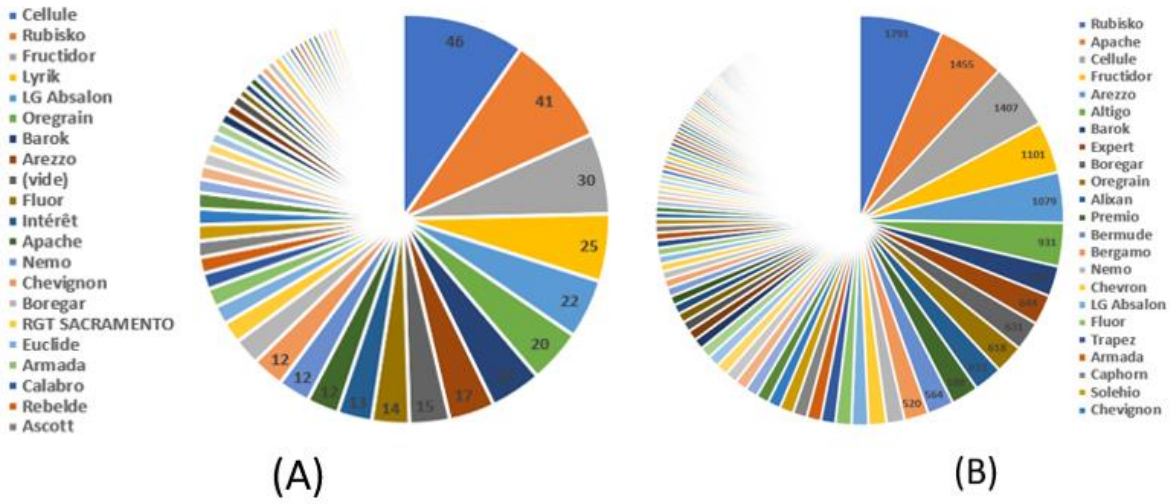
Annexe 3 : Mélanges d'espèces fourragères annuelles en agriculture biologique et conventionnelle



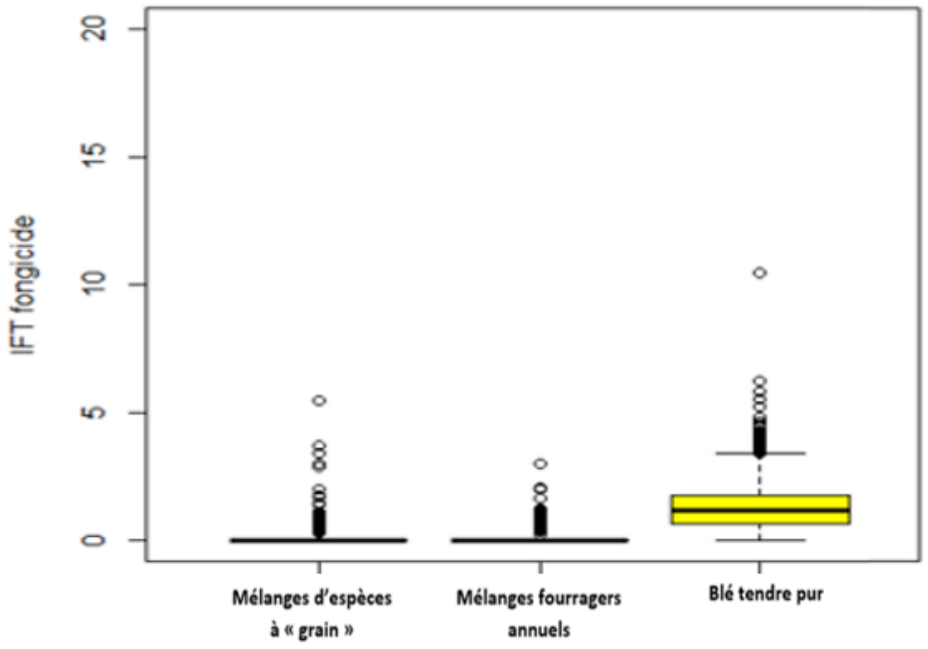
Annexe 4 : Mélanges d'espèces fourragères pluriannuelles en agriculture biologique et en conventionnelle



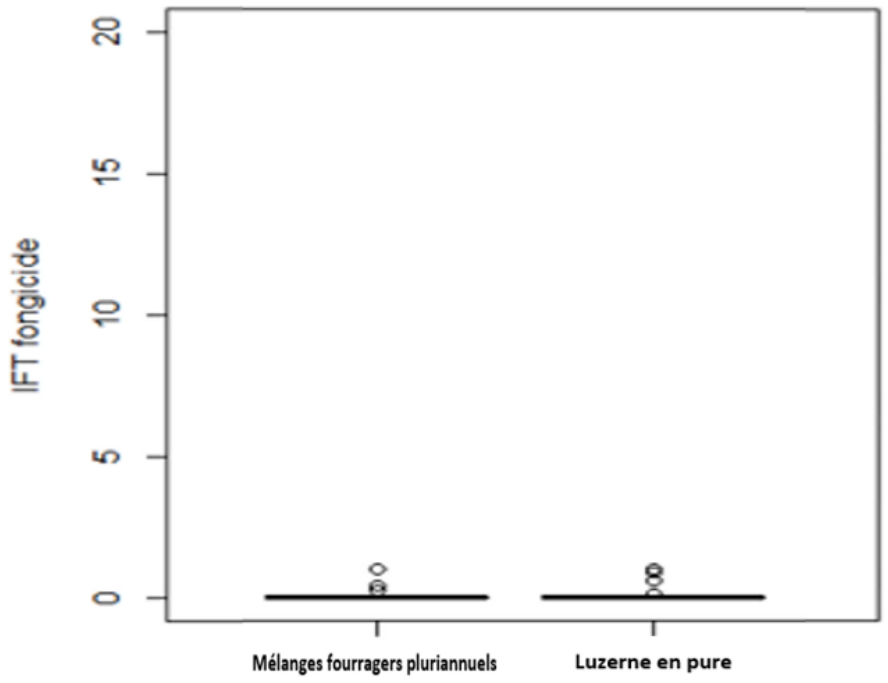
Annexe 5 : Répartition des exploitations en fonction de leurs ateliers d'élevage et de la présence de cultures en mélange d'espèces en agriculture conventionnelle (A) et biologique (B)



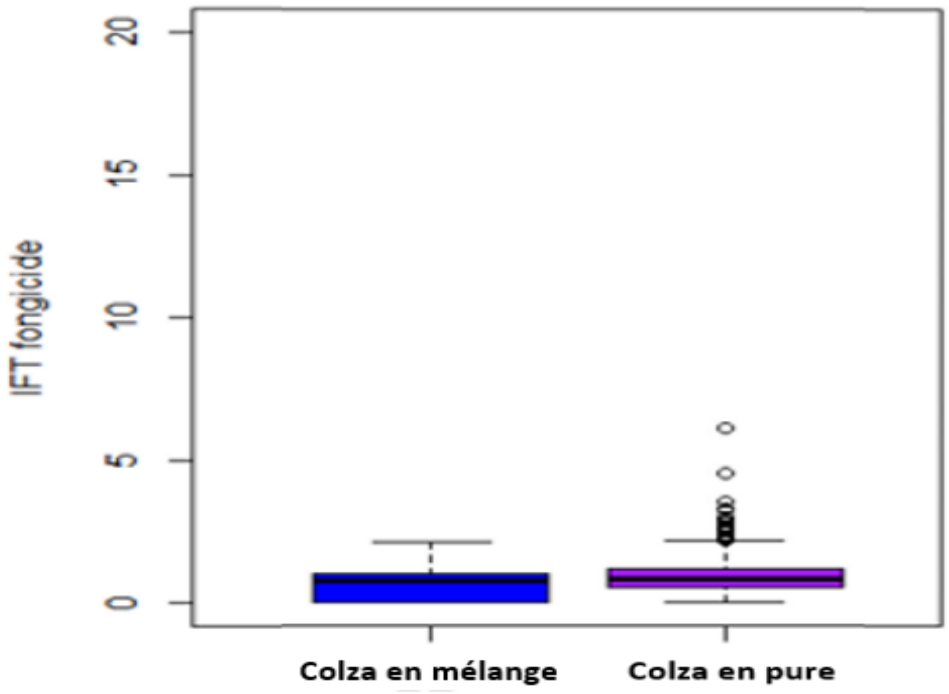
Annexe 6 : Variétés de blé tendre cultivées en mélange (A) et en pure (B).



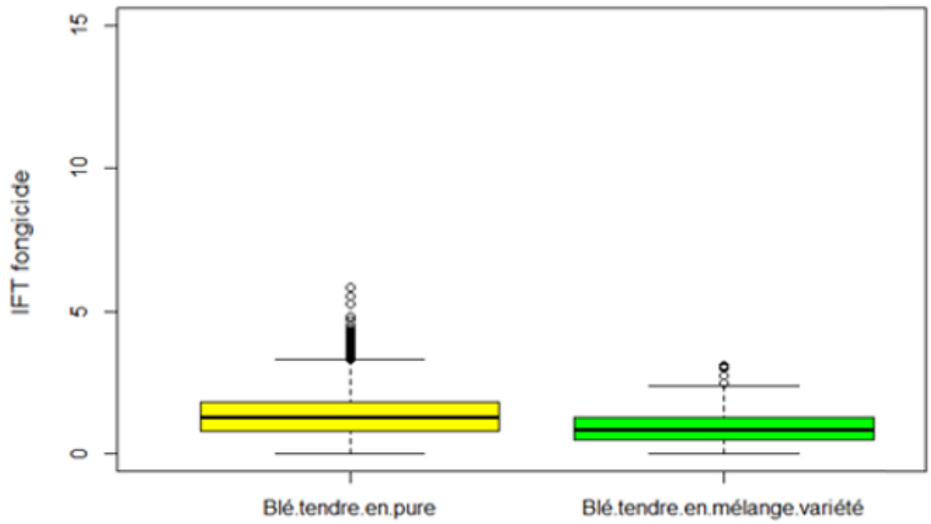
Annexe 7: IFT fongicide sur les cultures annuelles par types de conduites



Annexe 8 : IFT fongicide sur les cultures pluriannuelles par type de conduite



Annexe 9 : IFT fongicide sur colza cultivé en pur et en mélange d'espèces



Annexe 10 : IFT fongicide du blé tendre cultivé en pur et en mélange de variétés