
Suivi des bioagresseurs au sein des rotations innovantes de longue durée mises en place dans l'essai ECOFOODSYSTEM, dans un contexte agroécologique et zéro pesticide

Auteur : Decruyenaere, Florine

Promoteur(s) : De Clerck, Caroline

Faculté : Gembloux Agro-Bio Tech (GxABT)

Diplôme : Master en bioingénieur : sciences agronomiques, à finalité spécialisée

Année académique : 2020-2021

URI/URL : <http://hdl.handle.net/2268.2/13253>

Avertissement à l'attention des usagers :

Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.

Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.

**SUIVI DES BIOAGRESSEURS AU SEIN DES
ROTATIONS INNOVANTES DE LONGUE
DUREE MISES EN PLACE DANS L'ESSAI
ECOFOODSYSTEM, DANS UN CONTEXTE
AGROECOLOGIQUE ET ZERO PESTICIDE**

FLORINE DECRUYENAERE

**TRAVAIL DE FIN D'ETUDES PRESENTE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE
MASTER BIOINGENIEUR EN SCIENCES AGRONOMIQUES**

ANNEE ACADEMIQUE 2020-2021

PROMOTEUR: CAROLINE DE CLERCK

Toute reproduction du présent document, par quelque procédé que ce soit, ne peut être réalisée qu'avec l'autorisation de l'auteur et de l'autorité académique¹ de Gembloux Agro-Bio Tech

Le présent document n'engage que son auteur.

¹ Dans ce cas, l'autorité académique est représentée par le promoteur, membre du personnel enseignant de GxABT.

**SUIVI DES BIOAGRESSEURS AU SEIN DES
ROTATIONS INNOVANTES DE LONGUE
DUREE MISES EN PLACE DANS L'ESSAI
ECOFOODSYSTEM, DANS UN CONTEXTE
AGROECOLOGIQUE ET ZERO PESTICIDE**

FLORINE DECRUYENAERE

**TRAVAIL DE FIN D'ETUDES PRESENTE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE
MASTER BIOINGENIEUR EN SCIENCES AGRONOMIQUES**

ANNEE ACADEMIQUE 2020-2021

PROMOTEUR: CAROLINE DE CLERCK

Remerciements

En premier lieu, je tiens à remercier ma promotrice, Caroline De Clerck , pour son encadrement et ses conseils tout au long de ce travail ainsi que sa bonne humeur communicative. Cette proposition de sujet de TFE a répondu à toutes mes attentes, tout particulièrement concernant la proportion de temps passé sur le terrain.

Je voudrais également remercier l'ensemble du personnel de l'unité de phytotechnie tempérée pour leur accueil et convivialité. Je tiens également à remercier mes collègues Tfstes de l'open-space pour leur bonne humeur et tous les bons moments passés ensemble ces 6 derniers mois. Un énorme merci à Chloé pour ses compétences en localisation de quadrats en colza ! Tes talents de GPS valent de l'or ! Merci également à Gilles pour toutes ses pauses réalisées à m'aider à trier les milliers d'insectes des pilluliers ! J'espère qu'on arrivera à perpétuer cette bonne habitude du vendredi fin de journée ainsi que les escapades agronomiques.

J'aimerais également remercier Christophe pour toute son aide lors des comptages en champ et, ce sous toutes les conditions météorologiques ainsi que ses passages à la serre les week-ends et ses après-journées consacrées à m'aider à trier les pilluliers. Je le remercie également pour ses conseils avisés, ses aides précieuses et inestimables en analyses statistiques et son soutien jusque dans la phase tardive de rédaction.

Je voudrais également remercier tous mes cokotteurs pour ces 5 belles années passées au sein du « Kot Before ». Un merci particulier à Justine, Mathilde et Thomas pour cette fabuleuse compagnie durant les bons comme les moins bons moments. Les sessions d'examen se sont succédées mais vous étiez toujours présents ! La lumière au bout du tunnel est atteinte ! Merci également au kot élargi pour maintenir un niveau de sociabilité respectable pour cette dernière année placée sous le signe du confinement.

Je tiens également à remercier toutes ces rencontres gembloutoises et toutes ces personnes qui ont permis de passer 5 merveilleuses années d'études remplies de souvenir. Un merci particulier à toutes les filles de l'option agro pour cette entraide et tous ces travaux réalisés en bonne compagnie.

J'aimerais également remercier mes parents ainsi que mes frères pour m'avoir permis de réaliser ces études et m'avoir supporté tout au long de ces 5 années d'études.

Résumé

Face à une population croissante et une stabilité des surfaces agricoles cultivables, les habitudes alimentaires doivent être modifiées afin de fournir un régime équilibré aux 9,7 milliards d'êtres humains attendus en 2050. Ce changement ne peut s'opérer qu'en faisant évoluer les systèmes agricoles actuels vers des pratiques plus durables et nécessitant moins d'intrants. Des chercheurs gembloutois ont développé des rotations optimisées sur 8 ans afin de répondre à ce problème sociétal. Un essai sur le long terme a donc été implanté dans un contexte fortement agroécologique afin de tester la durabilité et la résilience de ces systèmes vis-à-vis des insectes ravageurs, agents pathogènes et adventices. Dans notre travail, les densités des différents bioagresseurs y ont été comptabilisés et analysés en l'absence d'application de produits phytosanitaires. Il ressort de cette première année d'essai que les niveaux des seuils d'interventions des ravageurs inféodés aux différentes cultures mises en place (colza, betterave, maïs, cameline) ont pour la plupart été dépassés. Une très grande abondance de ravageurs fut observée en culture de colza. Des pertes de rendements plus ou moins significatives sont donc à prévoir.

En ce qui concerne les adventices, nous avons observé que l'essai a été mis en place sur des blocs non homogènes entre eux. Les densités varient donc fortement et ce, même parfois jusqu'à un facteur 5 entre 2 blocs distincts. La biomasse d'adventices est corrélée négativement à la biomasse de la culture de rente. Des pertes de rendement significatives sont donc à prévoir, en supplément des pertes dues aux ravageurs et agents pathogènes. Néanmoins, le désherbage mécanique en cultures sarclées permet de réduire la densité d'adventices dans l'inter-rang à des niveaux similaires aux parcelles traitées avec un herbicide.

La mesure du rendement permettra de déterminer l'impact des bioagresseurs au niveau des cultures. Cependant, des mesures répétées sur le long terme sont nécessaires à l'évaluation de la durabilité et la résilience des rotations. Néanmoins, des améliorations pourraient être apportées à cet essai afin d'augmenter la biodiversité dans les environs des parcelles expérimentales dans le but d'accroître les services réalisés par les auxiliaires.

Ce travail a permis de caractériser les ravageurs présents la première année culturale suite au passage en zéro-phyto. Il servira de base pour envisager les mesures éventuelles à mettre en place les années suivantes ainsi que dans les autres cultures de la rotation. Des protocoles de suivi des bioagresseurs ont également été mis au point et seront réutilisés les années culturales successives.

Mots clés

EcoFoodSystem – Zéro phyto – Agroécologie – Adventices – Ravageurs - Colza – Betterave
– Maïs - Cameline

Abstract

Our world is facing an important increase of population while available agricultural areas are stagnating. Food habits must thus be changed in order to supply a balanced diet to the 9.7 billion people expected in 2050. This change can only be achieved by transforming current agricultural systems into more sustainable practices that require fewer inputs. Researchers from Gembloux have developed optimized 8 years rotations to solve this societal problem. Therefore, a long-term trial has been implemented in a highly agroecological context in order to test the sustainability and resilience of this system regarding insect pests, pathogens and weeds. In the present work, the densities of its various bio-aggressors have been counted and analysed in the absence of the application of phytosanitary products. It appears from this first year of trial that the levels of the interventions thresholds of the pests of the different crops (rapeseed, sugarbeet, corn, camelina) were for the most part exceeded. A very high abundance of pests has been observed in rapeseed crops. More or less significant yield losses are thus to be expected.

Concerning weeds, we have observed that the trial was set up on non-homogeneous plots. The density of weeds varies strongly and sometimes even by a factor of 5 between 2 distinct blocks. Weed biomass is negatively correlated with the biomass of the cash crop. Significant yield losses are therefore to be expected, in addition to losses due to pests and pathogens. Nevertheless, mechanical weed control in weeded crops can reduce weed density in the inter-row to similar levels to herbicide treated plots.

The yield measurement will allow to determine precisely the impact of pests on the crop. However, repeated long-term measurements are necessary to assess the sustainability and resilience of rotations. Nevertheless, improvements could be made on this trial in order to expand biodiversity in the surroundings of the experimental plots in order to increase the duties realized by beneficial insects.

This work has allowed us to characterize the pests present in the first crop year following the switch to zero-phyto and will serve as a basis for possible measures to be implemented in subsequent years as well as in the other crops of the rotation. Protocols for monitoring bio-aggressors were also developed and will be reused in subsequent crop years.

Keywords

EcoFoodSystem – Zero phytosanitary products – Agroecology – Weeds – Pests – Rapeseed – Sugarbeet – Maize - Camelina

Abréviations

ANOVA: Analyse de la variance

BChV: Beet chlorosis virus

BMYV: Beet moderated yellow virus

BYV: Beet yellow virus

CePiCOP: Centre Pilote Céréales et Oléo-Protéagineux

EMM : Estimated marginal means

FAO: Organisation pour l'alimentation et l'agriculture

MF : Matière fraîche

MS : Matière sèche

PCA: Analyse en composantes principales

SNK : Student Newman & Keuls

Table des matières

1.	Introduction	1
2.	Contexte.....	1
2.1.	Recommandations EAT-Lancet.....	1
2.2.	Création des rotations.....	2
2.3.	Pratiques agroécologiques	4
2.4.	Nuisibilité des adventices	4
2.5.	Colza.....	5
2.5.1.	Biologie et cycle de développement	5
2.5.2.	Bioagresseurs	5
2.6.	Betterave.....	8
2.6.1.	Biologie et cycle de développement	8
2.6.2.	Bioagresseurs	8
2.7.	Maïs	11
2.7.1.	Biologie et cycle de développement	11
2.7.2.	Bioagresseurs	11
2.8.	Cameline.....	13
2.8.1.	Biologie et cycle de développement	13
2.8.2.	Bioagresseurs	13
3.	Objectifs	14
4.	Matériel et méthodes	15
4.1.	Localisation de l'essai.....	15
4.2.	Dispositif expérimental de l'essai ECOFOODSYSTEM	15
4.3.	Suivi des cultures	17
4.3.1.	Suivi des stades	17
4.3.2.	Levées	17
4.4.	Suivi du stock semencier	17
4.5.	Relevés de la flore adventice exprimée	18
4.5.1.	Culture de colza	18
4.5.2.	Culture de betterave.....	19
4.5.3.	Culture de maïs.....	20
4.5.4.	Culture de cameline.....	20
4.6.	Suivi des bio agresseurs	21
4.6.1.	Piégeage des insectes en colza.....	21
4.6.2.	Dissection des tiges de colza.....	22
4.6.3.	Dissection des siliques.....	22

4.6.4.	Comptage des méligèthes	23
4.6.5.	Comptage des charançons des siliques	23
4.6.6.	Comptage des pucerons dans les parcelles de betteraves.....	23
4.6.7.	Estimation du niveau de populations de taupins dans les parcelles de maïs.....	23
4.6.8.	Comptage des pucerons dans les parcelles de maïs	24
4.7.	Analyses statistiques.....	24
5.	Résultats	25
5.1.	Suivi des cultures	25
5.1.1.	Stades de développement	25
5.1.2.	Levées	26
5.2.	Suivi du stock semencier	28
5.3.	Relevés de la flore adventice exprimée	29
5.3.1.	Analyse générale des cultures.....	29
5.3.2.	Culture de colza	30
5.3.3.	Culture de betterave.....	36
5.3.4.	Culture de maïs.....	41
5.3.5.	Culture de cameline.....	45
5.4.	Suivi des bio agresseurs	49
5.4.1.	Piégeage des insectes en colza	49
5.4.2.	Dissection des tiges de colza.....	51
5.4.3.	Dissection des siliques.....	51
5.4.4.	Comptage des méligèthes	53
5.4.5.	Comptage des charançons des siliques	53
5.4.6.	Comptage des pucerons dans les parcelles de betteraves.....	54
5.4.7.	Estimation du niveau de populations de taupins dans les parcelles de maïs.....	54
5.4.8.	Comptage des pucerons dans les parcelles de maïs	54
5.5.	Suivi des agents pathogènes.....	55
5.5.1.	Parcelles de colza	55
5.5.2.	Parcelles de cameline.....	55
6.	Discussion.....	56
6.1.	Levées	56
6.2.	Suivi du stock semencier	56
6.3.	Relevés de la flore adventice exprimée	57
6.4.	Suivi des bioagresseurs	60
6.4.1.	Parcelles de colza	60
6.4.2.	Parcelles de betteraves	62

6.4.3. Parcelles de maïs	62
5.4.7. Parcelles de cameline	63
7. Conclusion et perspectives	64
8. Contribution personnelle de l'étudiante	66
9. Bibliographie	67
10. Annexes	73

Table des figures

Figure 1: Rotation dite de référence sur 8 ans	Figure 2: Rotation dite agroécologique sur 8 ans	..... 3
Figure 3: Rotation dite végan sur 8 ans		..... 3
Figure 4: Ravageurs en culture de colza aux différents stades BBCH. Les encadrements oranges représentent les insectes dits d'automne et les encadrements verts représentent les insectes apparaissant au printemps. Les ravageurs présents dans les cadres rouges sont ceux dont le suivi a été effectué durant ce TFE.		..... 7
Figure 5: Ravageurs de la culture de la betterave mis en relation avec les stades de la betterave durant lesquels ces ravageurs et les symptômes associés sont observés. Les ravageurs présents dans les cadres rouges sont ceux pour lesquels le suivi a été effectué dans ce travail.		..... 10
Figure 6: Ravageurs de la culture de maïs mis en relation avec les stades de la culture durant lesquels ces ravageurs et les symptômes associés sont observés. Les ravageurs présents dans les cadres rouges sont ceux pour lesquels le suivi a été effectué dans ce travail.		..... 12
Figure 7: Disposition des blocs au sein de la plateforme expérimentale		..... 15
Figure 8: Dimensions d'une parcelle d'essai		..... 15
Figure 9: Protocole de mise en culture des échantillons de sol en vue de l'évaluation du stock semencier. 1: Bac de 792 cm ² . 2: Echantillon composite « quadrat » (0,5cm). 3 : Terreau universel (1cm). 4 : Argex (3cm). 5 : Morceau de tuyau PVC (D=3,2cm, L=5cm).		..... 17
Figure 10: Mise en place du suivi du stock semencier. A: Mise en place des billes d'argex sur 3 cm d'épaisseur superposées par une couche de terreau universel de 1cm. B: Echantillons émiettés. C: Mise en culture des échantillons.		..... 18
Figure 11: Emiettement de l'échantillon de sol à la fin du stress hydrique		..... 18
Figure 12: Prélèvement des adventices. A : Repérage du quadrat à l'aide de bâtons. B : Prélèvement des plants de colza. C : Prélèvement des adventices		..... 19
Figure 13: Schéma des dimensions du quadrat utilisé en betterave. Les points verts représentent les betteraves.		..... 19
Figure 14: Photo du quadrat disposé sur le rang		..... 20
Figure 15: Schéma des dimensions du quadrat utilisé en maïs. Les points verts représentent les plants de maïs espacés de 13,3 cm.		..... 20
Figure 16: Disposition du quadrat au niveau de 4 lignes de semis contigües.		..... 21
Figure 17: Plan de piégeage en parcelles de colza. Les disques jaunes représentent les pièges jaunes disposés dans la grande parcelle nette de 42m sur 69m.		..... 21
Figure 18: Dissection des plants de colza en vue du comptage des larves d'altises et de charançons du bourgeon terminal.		..... 22
Figure 19: Dissection longitudinale des tiges en vue du comptage des larves de charançons de la tige du colza et de la tige du chou.		..... 22
Figure 20: Dissection des siliques. A : Comptage des larves de cécidomyies. B : Comptage des siliques développées et non développées.		..... 23
Figure 21: Piège dit à appât destiné à l'estimation du niveau de populations de taupins. A: Observation du contenu du piège le 20 mai. B: Enlèvement des pièges le 9 juin.		..... 23
Figure 22: Pourcentages de levées en colza en fonction du bloc. Les modalités ayant des lettres identiques ont des moyennes statistiquement équivalentes au seuil de probabilité de 5% selon le test SNK.		..... 26
Figure 23: Pourcentages de levées en betterave en fonction du bloc. Les modalités ayant des lettres identiques ont des moyennes statistiquement équivalentes au seuil de probabilité de 5% selon le test SNK.		..... 27
Figure 24: Pourcentages de levées en maïs en fonction du bloc. Les modalités ayant des lettres identiques ont des moyennes équivalentes au seuil de probabilité de 5% selon le test SNK.		..... 27

Figure 25: Pourcentages de levées de cameline en fonction du bloc.	28
Figure 26: Nombre total d'adventices par m ² estimé via l'étude du stock semencier en fonction du bloc. Les modalités ayant des lettres identiques ont des moyennes marginales estimées statistiquement équivalentes au seuil de probabilité de 5% selon le test EMMEANS.	28
Figure 27: Représentation des différentes variables de la flore adventice selon les 2 axes de la PCA en fonction du bloc.	29
Figure 28: Densité d'adventices au m ² en fonction de la culture sur l'entièreté de l'essai ECOFOODSYSTEM. Les modalités ayant des lettres identiques ont des moyennes marginales estimées statistiquement équivalentes au seuil de probabilité de 5% selon le test EMMEANS.	29
Figure 29: Nombre total d'adventices par m ² selon le bloc sur l'entièreté de l'essai ECOFOODSYSTEM. Les modalités ayant des lettres identiques ont des moyennes marginales estimées statistiquement équivalentes au seuil de probabilité de 5% selon le test EMMEANS.	30
Figure 30: Nombre total d'adventices par m ² en fonction de l'interaction du bloc et du désherbage. Les modalités ayant des lettres identiques ont des moyennes marginales estimées statistiquement équivalentes au seuil de probabilité de 5% selon le test EMMEANS.	31
Figure 31: Représentation des différentes variables selon les 2 axes de la PCA réalisée sur la flore adventice lors du prélèvement.	32
Figure 32: Biomasse aérienne sèche du colza en fonction du bloc. Les modalités ayant des lettres identiques ont des moyennes statistiquement équivalentes au seuil de probabilité de 5% selon le test SNK.	33
Figure 33: Biomasse fraîche du colza en fonction du désherbage. Les modalités ayant des lettres identiques ont des moyennes statistiquement équivalentes au seuil de probabilité de 5% selon le test SNK.	33
Figure 34: Biomasse totale des adventices (g MS/m ²) en fonction du type de désherbage. Les modalités ayant des lettres identiques ont des moyennes statistiquement équivalentes au seuil de probabilité de 5% selon le test SNK.	34
Figure 35: Biomasse totale des adventices (g MS/m ²) en fonction du bloc. Les modalités ayant des lettres identiques ont des moyennes statistiquement équivalentes au seuil de probabilité de 5% selon le test SNK.	34
Figure 36: Pourcentage de biomasse d'adventices par rapport à la biomasse totale réalisée sur le poids sec et le poids frais. Les modalités ayant des lettres identiques ont des moyennes statistiquement équivalentes au seuil de probabilité de 5% selon le test SNK.	35
Figure 37: Régression linéaire de la biomasse du colza (g MF/m ²) en fonction de la biomasse totale des adventices (g MF/m ²)	36
Figure 38: Nombre total d'adventices par m ² en fonction du type de désherbage après l'application de l'herbicide. Les modalités ayant des lettres identiques ont des moyennes marginales estimées statistiquement équivalentes au seuil de probabilité de 5% selon le test EMMEANS ;	36
Figure 39: Nombre total d'adventices en fonction de l'interaction du bloc et du type de désherbage au niveau du rang. Les modalités ayant des lettres identiques ont des moyennes statistiquement équivalentes au seuil de probabilité de 5% selon le test SNK.	37
Figure 40: Nombre total d'adventices par m ² en fonction de l'interaction du désherbage et du bloc au niveau de l'inter-rang. Les modalités ayant des lettres identiques ont des moyennes statistiquement équivalentes au seuil de probabilité de 5% selon le test SNK.	38
Figure 41: Pourcentage de réduction d'adventices en fonction du type de désherbage et du rang/inter-rang. IR : Inter-rang. R : Rang. Les modalités ayant des lettres identiques ont des moyennes marginales estimées statistiquement équivalentes au seuil de probabilité de 5% selon le test EMMEANS.	39
Figure 42: Analyse en composantes principales réalisée sur les différentes variables de la flore adventice en fonction du bloc.	39

Figure 43: Biomasse sèche des betteraves (g/m ²) en fonction du type de désherbage. Les modalités ayant des lettres identiques ont des moyennes statistiquement équivalentes au seuil de probabilité de 5% selon le test SNK.....	40
Figure 44: Régression linéaire de la biomasse des betteraves (g MS/m ²) en fonction de la densité d'adventices au m ²	40
Figure 45: Nombre d'adventices au m ² en fonction du comptage pour chaque bloc séparément. T0: Comptage avant le passage de la houe rotative. T1: Comptage après le passage de la houe rotative. Pour chaque bloc séparément, les modalités ayant des lettres identiques ont des moyennes marginales estimées statistiquement équivalentes au seuil de probabilité de 5% selon le test EMMEANS.....	41
Figure 46: Nombre d'adventices au m ² en fonction du comptage au niveau du rang pour chaque bloc. T1 : Comptage après le passage de la houe rotative. T2 : Comptage après les passages de la bineuse. Pour chaque bloc séparément, les modalités ayant des lettres identiques ont des moyennes marginales estimées statistiquement équivalentes au seuil de probabilité de 5% selon le test EMMEANS.	42
Figure 47: Nombre d'adventices au m ² en fonction du comptage au niveau de l'inter-rang pour chaque bloc. T1 : Comptage après le passage de la houe rotative. T2 : Comptage après les passages de la bineuse. Pour chaque bloc séparément, les modalités ayant des lettres identiques ont des moyennes marginales estimées statistiquement équivalentes au seuil de probabilité de 5% selon le test EMMEANS.	42
Figure 48: Nombre d'adventices au m ² en fonction du comptage au niveau du rang pour chaque bloc. T0 : Comptage avant le passage de la houe rotative. T2 : Comptage après les passages de la bineuse. Pour chaque bloc séparément, les modalités ayant des lettres identiques ont des moyennes marginales estimées statistiquement équivalentes au seuil de probabilité de 5% selon le test EMMEANS.	43
Figure 49: Nombre d'adventices au m ² en fonction du comptage au niveau de l'inter-rang pour chaque bloc. T0 : Comptage avant le passage de la houe rotative. T2 : Comptage après les passages de la bineuse. Pour chaque bloc séparément, les modalités ayant des lettres identiques ont des moyennes marginales estimées statistiquement équivalentes au seuil de probabilité de 5% selon le test EMMEANS.	44
Figure 50: Nombre total moyen du nombre d'adventices par m ² en fonction du rang/inter-rang pour chaque bloc.....	44
Figure 51: PCA réalisée sur les différentes variables de la flore adventice en fonction du bloc	45
Figure 52: Nombre d'adventices au m ² en fonction du comptage. Pour chaque bloc séparément, les modalités ayant des lettres identiques ont des moyennes marginales estimées statistiquement équivalentes au seuil de probabilité de 5% selon le test EMMEANS.....	46
Figure 53: Représentation des différentes variables selon les 2 axes de la PCA réalisée sur la flore adventice en fonction du facteur bloc.....	46
Figure 54: Pourcentage de biomasse aérienne des adventices par rapport à la biomasse totale en fonction du facteur bloc. Les modalités ayant des lettres identiques ont des moyennes statistiquement équivalentes au seuil de probabilité de 5% selon le test SNK.....	47
Figure 55: Régression linéaire de la biomasse de la cameline (g MS/m ²) en fonction de la biomasse totale des adventices (g MS/m ²).....	48
Figure 56: Représentation des différentes variables selon 2 axes. Le graphe de gauche représente la PCA réalisée sur la biomasse sèche des adventices. Le graphe de droite représente la PCA réalisée sur la biomasse fraîche des adventices.....	48
Figure 57: Nombre d'insectes ravageurs comptabilisés par piège en culture de colza en fonction du bloc. Les modalités ayant des lettres identiques ont des moyennes marginales estimées statistiquement équivalentes au seuil de probabilité de 5% selon le test EMMEANS.....	49
Figure 58: Relevés hebdomadaires des méligèthes, charançons de la tige du colza, charançons de la tige du chou et charançons des siliques dans les pièges et évolution des températures. * : 1237 méligèthes au 04/04/2021.....	50

Figure 59: Nombre de larves d'altises par plant en fonction du bloc. Les modalités ayant des lettres identiques ont des moyennes marginales estimées statistiquement équivalentes au seuil de probabilité de 5% selon le test EMMEANS.	51
Figure 60: Nombre de larves de cécidomyies par silique infectée en fonction du bloc. Les modalités ayant des lettres identiques ont des moyennes statistiquement équivalentes au seuil de probabilité de 5% selon le test SNK.	52
Figure 61: Proportion de siliques avortées en fonction du bloc. Les modalités ayant des lettres identiques ont des moyennes statistiquement équivalentes au seuil de probabilité de 5% selon le test SNK.	52
Figure 62: Nombre de méligèthes par plant en fonction du bloc. La ligne rouge représente le seuil en colza peu vigoureux et la ligne verte représente le seuil dans les parcelles en bon état. Les modalités ayant des lettres identiques ont des moyennes marginales estimées statistiquement équivalentes au seuil de probabilité de 5% selon le test EMMEANS.	53
Figure 63: Plants de cameline infectés par <i>Peronospora camelinae</i>	55
Figure 64: <i>Peronospora camelinae</i> au microscope.	55

Table des tableaux

Tableau 1: Apports recommandés du régime alimentaire EAT-Lancet	2
Tableau 2: Opérations culturales et informations relatives à chaque culture	16
Tableau 3: Dates des différentes opérations culturales et comptages.....	19
Tableau 4: Dates des différentes opérations culturales et comptages d'adventices en parcelles de maïs	20
Tableau 5: Tableau de l'évolution des stades en culture de colza.	25
Tableau 6: Tableau de l'évolution des stades de développement en culture de betterave.	25
Tableau 7: Tableau de l'évolution des stades de développement en culture de maïs	26
Tableau 8: Tableau de l'évolution des stades de développement en culture de cameline	26
Tableau 9: Moyennes de la densité d'adventices par m ² en fonction du bloc et du type de désherbage.	30
Tableau 10: Pourcentages de la biomasse des adventices par rapport à la biomasse totale du colza et des adventices selon le poids sec et le poids frais.	35
Tableau 11: Moyennes des densités d'adventices en fonction de l'interaction entre le bloc, le désherbage et le rang/inter-rang.	37
Tableau 12: Moyennes des densités d'adventices en fonction du bloc et du facteur comptage. T0 : Comptage avant le passage de la houe rotative. T1 : Comptage après le passage de la houe rotative. .	41
Tableau 13: Moyennes de la densité d'adventices en fonction de l'interaction entre le bloc, le comptage et le rang/inter-rang. T1 : Comptage après le passage de la houe rotative. T2 : Comptage après les passages de la bineuse	41
Tableau 14: Moyennes de la densité d'adventices en fonction de l'interaction du facteur bloc, du facteur comptage et du rang/inter-rang. T0 : Comptage avant le passage de la houe rotative. T2 : Comptage après le passage de la bineuse	43
Tableau 15: Moyennes de la densité d'adventice en fonction du facteur comptage pour chaque bloc. T0 : Comptage avant le passage de la houe rotative. T1 : Comptage après le passage de la houe rotative.....	45
Tableau 16: Pourcentages de biomasses d'adventices par rapport à la biomasse totale en fonction du bloc	47
Tableau 17: Moyenne du nombre de méligèthes par plant.....	53
Tableau 18: Nombre de charançons des siliques comptabilisés sur 40 plants	53
Tableau 19: Nombre de plants de maïs sur 10 présentant des pucerons et nombre de pucerons aptères par 10 plantes en cas de dépassement du seuil lors des comptages sur 40 plants par parcelle.....	54

Table des annexes

Annexe 1: Plan du dispositif expérimental du bloc 1	73
Annexe 2: Plan du dispositif expérimental du bloc 2.....	74
Annexe 3: Plan du dispositif expérimental des blocs 3 et 4.....	75
Annexe 4: Echelle BBCH de la culture de colza.....	76
Annexe 5: Echelle BBCH de la betterave	78
Annexe 6: Echelle BBCH du maïs	80
Annexe 7: Echelle BBCH de la cameline.....	81
Annexe 8: Illustrations de la présence d'adventices en parcelles de betteraves.....	82
Annexe 9: Illustration de la présence d'agrostis jouet-du vent au niveau du bloc1	82
Annexe 10 : Densités d'adventices en fonction des blocs pour chaque culture	83
Annexe 11: Analyse homogénéité des parcelles	85
Annexe 12: Tableaux des noms vernaculaires et scientifiques de l'ensemble des bioagresseurs.....	87
Annexe 13: Données brutes des analyses sur les levées.....	88
Annexe 14: Données brutes des analyses sur la flore adventice en culture de colza	89
Annexe 15:Données brutes des analyses sur la flore adventice en culture de betterave	91
Annexe 16: Données brutes des analyses sur la flore adventice en culture de maïs	93
Annexe 17: Données brutes des analyses sur la flore adventice en culture de cameline	94
Annexe 18: Données brutes de l'analyse générale et du suivi du stock semencier.....	96
Annexe 19: Données brutes des analyses des ravageurs du colza.....	97

1. Introduction

D'ici 2050, la population mondiale atteindra 9,7 milliards d'habitants selon le dernier rapport des Nations Unies (ONU, 2019). Cette population grandissante vit en majorité dans des zones urbaines ; engendrant de grands changements dans les modes de production, distribution et consommation alimentaires mondiaux (FAO, 2020). Depuis 2015, il apparaît que le nombre de personnes sous-nourries augmente et correspondait à 820 millions d'habitants en 2019, soit une personne sur 9 dans le monde. En 2018, la FAO estimait également que 9,2% de la population mondiale faisait face à des niveaux très élevés d'insécurité alimentaire. Quant aux niveaux d'insécurité alimentaire faible, soit un accès irrégulier à une alimentation nutritive en quantité suffisante, ils concernent 17,2% de la population, soit 1,3 milliards de personnes (FAO, 2020).

D'autre part, la prévalence du surpoids augmente aussi bien chez les enfants que les adultes. Deux milliards d'adultes sont estimés être en surpoids dans le monde ; soit 38,9% de la population mondiale de plus de 18 ans. La prévalence du surpoids chez les enfants de moins de 5 ans était de l'ordre de 6% en 2016, soit 40,6 millions de personnes (UNICEF/WHO/World Bank Group, 2017). Ces dernières décennies, la communauté internationale a pris différentes mesures afin de réduire la prévalence de sous-nutrition ainsi qu'améliorer la nutrition via des programmes mondiaux tels que les « Objectifs de développement du millénaire », les « Objectifs de développement durable » et la décennie de l'action sur la nutrition (Willett et al., 2019). Parmi les 17 objectifs de développement durable, le deuxième est de mettre un terme à toutes les formes de malnutrition d'ici 2030 en s'assurant que toute personne ait accès à une alimentation nutritive en suffisance et ce, tout au long de l'année. Cet objectif implique la promotion d'une agriculture durable et d'un accès équitable à la terre et aux marchés (United Nations, sd). L'agriculture joue donc un rôle clé dans l'accomplissement de cet objectif. Cependant, la croissance des villes et des zones péri-urbaines confronte la lutte pour la sécurité alimentaire à de nouveaux enjeux (IFPRI, 2017). En effet, les surfaces agricoles n'augmentent pas contrairement à la population mondiale. Entre 1961 et 2008, la production agricole a été multipliée par un facteur de l'ordre de 2,5 à 3 tandis que la superficie des terres cultivables n'a augmenté que de 12%. La population étant grandissante, la superficie de terre cultivable est passée de 0,45 ha en 1961 à 0,25 ha par personne en 2008 (FAO, 2011).

En outre, une volonté de réduction de l'utilisation des produits phytopharmaceutiques émerge de la part des citoyens. L'Union Européenne promeut, par le biais de la directive 2009/128/EC, une utilisation durable des pesticides par la réduction des risques et des impacts de ceux-ci sur la santé humaine et l'environnement. La lutte intégrée contre les ravageurs et la mise en place de techniques alternatives sont promues par cette directive (Commission européenne, sd). La lutte intégrée contre les ravageurs consiste en la prévention et/ou suppression des organismes nuisibles au moyen de méthodes durables biologiques, physiques et d'autres non chimiques préférentiellement. Les méthodes chimiques ne sont utilisées qu'en dernier recours (Commission européenne, sd)

2. Contexte

2.1. Recommandations EAT-Lancet

La commission EAT-Lancet recommande un régime alimentaire ayant un apport de 2500 kcal/jour, composé des aliments présents dans le Tableau 1 afin d'assurer la santé humaine (Willett et al., 2019). De plus, les composants de ce régime alimentaire sain peuvent être produits par des systèmes alimentaires respectant les 9 limites planétaires (Willett et al., 2019).

Tableau 1: Apports recommandés du régime alimentaire EAT-Lancet

Aliment	Apport quotidien recommandé en gramme
Riz, blé, maïs et autres céréales	0-232
Pommes de terre et manioc	0-100
Légumes	200-600
Fruits	100-300
Produits laitiers	0-500
Viande rouge de bœuf, porc et agneau	0-28
Viande de volailles et œufs	0-83
Légumineuses	0-225
Huiles insaturées	20-80
Édulcorant	0 - 31

2.2. Création des rotations

Un modèle innovant a été conçu afin de prédire quel type de rotation permettrait d’optimiser l’utilisation des productions et de satisfaire les exigences alimentaires spécifiques établies par la commission EAT-Lancet (De Clerck et al., 2021). Ce modèle s’est basé sur le contexte agronomique de la région limoneuse belge d’Hesbaye ; région caractérisée par un climat tempéré Cfb selon la classification de Köppen-Geiger (Peel et al., 2007), des précipitations annuelles moyennes de 800 – 900 mm (“Contextual elements: Physical environment: Rainfall,” 2017) et une température moyenne annuelle de 10-10,5°C (“Contextual Elements : Physical Environment : Temperature,” 2017). Le processus d’optimisation de l’utilisation des productions des rotations avait pour but de satisfaire les exigences alimentaires spécifiques du régime Lancet, soit une quantité minimale d’énergie alimentaire (De Clerck et al., 2021) de l’ordre de 2500 kcal.j⁻¹ (Willett et al., 2019) et il avait également pour autre but de minimiser les déficits et les excès des différents produits alimentaires. Ce modèle a testé différentes rotations variant en durée (3 à 8 ans) et en type de cultures. Le rendement de référence de chaque culture considéré est la moyenne des niveaux de production de 2014 à 2018 (Anon., sd) pour la région limoneuse belge.

Le processus d’optimisation a été réalisé de manière itérative pour chaque rotation selon les 3 scénarii différents ciblés : un régime omnivore, ovo-lacto-végétarien et végétan. Il en ressort que les rotations de 3 ans, pour tous les types de régime alimentaire, présentent des déficits supérieurs en produits alimentaires selon les cultures mises en place. Les excès des sous-produits, habituellement utilisés comme aliments pour animaux, sont particulièrement importants, dans n’importe quelle durée de rotation impliquant un régime végétan (De Clerck et al., 2021).

Les chercheurs ont mis en évidence que les rotations doivent être longues et diversifiées afin d’atteindre une production végétale correspondant aux exigences de la diète idéale préconisée par la commission EAT-Lancet et minimisant les excès (exports possibles) et les déficits (imports requis) de produits alimentaires à destination humaine et animale.

ECOFOODSYSTEM, une expérience de terrain sur le long terme (8 ans), a donc été mise en œuvre sur 30 hectares afin de tester 3 rotations culturelles innovantes dans un contexte agroécologique. L’objectif est de déterminer s’il est possible de gérer des systèmes de production en régions limoneuses conciliant la production végétale et la consommation alimentaire dans une même zone tout en étant un système alimentaire durable sans pesticides et/ou animaux permettant de répondre aux recommandations de la commission EAT-Lancet. Cette expérience de terrain sur le long terme permettra de déterminer la résistance et la résilience de ce système vis-à-vis de l’ensemble des bioagresseurs.

Les 3 rotations testées sont les suivantes :

1. Une rotation dite de « référence », qui intègre les animaux via les apports de fumier et les exportations de co-produits. Cette rotation présente deux variantes : une rotation permettant l'application d'herbicides et une rotation sans pesticide.
2. Une rotation dite « agroécologique », au sein de laquelle le bétail est à la fois un outil de fertilisation via les apports de fumier et de gestion des adventices et ravageurs via le pâturage des prairies temporaires et intercultures. Cette rotation exporte des co-produits des animaux et est cultivée sans pesticide
3. Une rotation, dite « végan », dans laquelle le bétail est banni et dont l'ensemble de la production est à destination humaine afin de répondre à la version végan du régime proposé par la commission EAT-Lancet. Cette rotation est gérée sans pesticide ni engrais organique.

Les figures 1, 2 et 3 détaillent les cultures et intercultures composant les quatre (3+1) rotations. Chaque rotation est considérée selon deux temporalités et a démarré par la culture 1 et la culture 5 lors de la première année de mise en place de l'essai. Colza, betteraves sucrières, maïs fourrager et cameline sont cultivés lors de la première année de cet essai sur le long terme.



Figure 1: Rotation dite de référence sur 8 ans

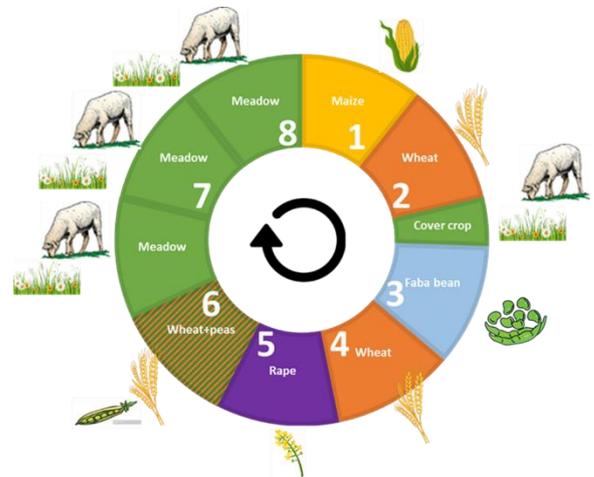


Figure 2: Rotation dite agroécologique sur 8 ans



Figure 3: Rotation dite végan sur 8 ans

2.3. Pratiques agroécologiques

Différents leviers agronomiques ont été mis en place afin d'augmenter la biodiversité au sein de l'essai. Il est attendu que cette augmentation réduise l'impact des adventices, ravageurs et agents pathogènes vis-à-vis des cultures via divers mécanismes (Duru et al., 2015).

Dans ces 4 rotations, aucune restriction n'est appliquée concernant le travail du sol, le déchaumage, le désherbage mécanique ainsi que la fertilisation (minérale et/ou organique). Le système est géré suivant les meilleures pratiques agroécologiques, c'est-à-dire la maximisation des intercultures, la mise en place d'un maillage écologique, l'alternance des familles botaniques (*Brassicaceae*, *Amaranthaceae*, *Fabaceae*), à l'exception des *Poaceae* et la mise en place de cultures résistantes/tolérantes. Le maillage écologique est constitué de haies, bandes fleuries, bandes messicoles et d'agroforesterie.

Les pratiques agroécologiques ont pour objectif de maximiser la biodiversité fonctionnelle et de renforcer les régulations biologiques dans les agroécosystèmes tout en visant une production fondée sur la fonction de l'écosystème (Deguine et al., 2017). Les bandes fleuries, composées d'un mélange d'espèces, attirent les auxiliaires de cultures (pollinisateurs, prédateurs et parasitoïdes) en leur fournissant des ressources alimentaires et un abri (Deguine et al., 2017). L'alternance des familles botaniques permet d'interrompre le développement des populations de ravageurs ; ceux-ci étant pour la majorité spécifiques à certaines espèces uniquement (Martin et al., 2013). Cette alternance des familles botaniques a également un impact au niveau de la gestion des adventices, par le décalage des dates de semis d'une culture d'automne à une culture de printemps (Martin et al., 2013). Concernant la gestion des adventices, la maximisation des intercultures permet d'opérer des déchaumages successifs visant à détruire les nouvelles levées et le décalage de la date de semis permet d'éviter de coïncider avec la période préférentielle de germination des adventices principales (Chauvel et al., 2018).

2.4. Nuisibilité des adventices

Les adventices sont considérées comme des plantes indésirables à l'endroit où elles se situent. La nuisibilité des adventices, soit la gêne occasionnée par ces espèces à la culture et aux activités agricoles, s'observe à trois niveaux. La nuisibilité primaire directe se définit par la concurrence des adventices vis-à-vis de la culture pour différentes ressources telles que la lumière, l'eau et les éléments nutritifs (Chauvel et al., 2018). Cette nuisibilité primaire est également définie par des phénomènes d'allélopathie réduisant le développement de la culture de rente. L'allélopathie représente l'ensemble des effets directs ou indirects, à la fois positifs ou négatifs, d'une plante sur une autre à travers la production de métabolites secondaires libérés dans l'environnement (Weston et al., 2003; Chauvel et al., 2018).

La nuisibilité primaire indirecte se traduit par une dégradation de l'état sanitaire de la culture et/ou de la parcelle et la diminution de la qualité des récoltes. En effet, les adventices peuvent permettre le maintien d'inocula de champignons pathogènes responsables de maladies au niveau des cultures de rente (Chauvel et al., 2018). La présence d'adventices peut également perturber la réalisation du chantier de récolte ainsi que la récolte elle-même. En effet, la présence de semences d'adventices peut altérer la qualité de la récolte ; certaines sont mêmes toxiques. Cela demande donc une attention toute particulière lors du triage des cultures à graines (Chauvel et al., 2018).

La nuisibilité secondaire se traduit quant à elle par une augmentation du stock semencier du sol et donc du potentiel de futures levées dans les cultures se succédant dans la rotation (Chauvel et al., 2018).

En ce qui concerne la nuisibilité primaire directe, des pertes de rendement due à la présence d'adventices ont été démontrées. Les pertes estimées dues aux adventices sont de l'ordre de 7 à 13% (Oerke, 2006). Une étude réalisée en France sur la différence de rendement entre des parcelles témoins

non traitées et des parcelles traitées chimiquement a démontré des pertes de rendement de l'ordre de 26 q/ha en culture de froment et de 3,5 q/ha en culture de colza d'hiver (Cordeau et al., 2016).

2.5. Colza

2.5.1. Biologie et cycle de développement

Brassica napus L. appartient à la famille des brassicacées (ou crucifères) et est un hybride amphidiploïde d'un chou et d'une navette (Boyeldieu, 1991).

Les variétés « type hiver » présentent un cycle d'une durée de 250–300 jours sous des climats européens (Boyeldieu, 1991). Le cycle de développement est divisé en trois phases successives : une phase végétative, une phase reproductrice marquée par la montaison et une phase dite de maturation (Moule, 1982). Ces variétés présentent une longue phase de rosette et la phase de montaison est induite à la suite de la vernalisation réalisée par des températures fraîches (Boyeldieu, 1991). La reprise de la végétation, soit la mobilisation des réserves, démarre dès que la température moyenne journalière est supérieure à 5°C durant quelques jours. Suit le développement de la fleur favorisé par les jours longs du printemps.

2.5.2. Bioagresseurs

Un grand nombre d'insectes phytophages est inféodé aux cultures de colza d'hiver et se succèdent à tous les stades de la plante pour en exploiter les différentes ressources (CETIOM, 1997). Les ravageurs entomophages se distinguent en deux groupes : les insectes d'automne et les insectes de printemps (Figure 4).

Les principaux insectes dits d'automne apparaissant dès la levée sont les altises des crucifères ou petites altises (*Phyllotreta* sp. C.), l'altise d'hiver ou grosse altise (*Psylliodes chrysocephala* L.), le puceron vert du pêcher (*Mysus persicae* S.), le puceron cendré du chou (*Brevicoryne brassicae* L.) et la tenthrède de la rave (*Athalia rosea* L.) ; les deux premiers provoquant des dommages jusqu'au stade 3 feuilles. La mouche du chou (*Delia radicum* L.) et le charançon du bourgeon terminal (*Ceutorhynchus picipitarsis* G.) sont quant à eux observés de manière préférentielle respectivement du stade 1 à 5 feuilles et plus et du stade 4-5 feuilles à la reprise de la végétation.

Dès la reprise de la végétation, les principaux insectes apparaissant au printemps, sont le charançon de la tige du colza (*Ceutorhynchus napi* G.), le charançon de la tige du chou (*Ceutorhynchus pallidactylus* M.) et le puceron cendré du chou (*Brevicoryne brassicae* L.) ; suivi par le méligèthe des crucifères (*Meligethes* sp.) observé préférentiellement dès le stade boutons accolés. Le charançon des siliques (*Ceutorhynchus assimilis* P.), la cécidomyie des siliques (*Dasineura brassicae* W.) et le baris des crucifères (*Baris laticollis* M.) sont quant à eux observables dès la chute des premiers pétales (CETIOM, 2013).

Les maladies sur le colza sont sensiblement les mêmes à l'automne et à l'hiver qu'au printemps et l'été. Dès la levée, le mildiou (*Peronospora brassicae* G.) peut être observé, suivi par l'alternaria (*Alternaria brassicae* B.) et le phoma (*Leptosphaeria maculans* K.) dès le stade cotylédons à rosette. S'ensuivent le botrytis (*Botrytis cinerea*) et la cylindrosporiose (*Cylindrosporium cocentricum* B.) pouvant apparaître au stade rosette et le sclérotinia mycélien (*Sclerotinia sclerotiorum* de B.) à partir du stade 6 feuilles. Dès la reprise de la végétation au printemps, l'alternaria, le botrytis, la cylindrosporiose, le mildiou et le phoma peuvent être de nouveau observés. L'oïdium (*Erysiphe cruciferarum* J.) et le sclérotinia sont quant à eux observés respectivement au début de la floraison et à la chute des premiers pétales (CETIOM, 2008).

Les ravageurs les plus nuisibles en Europe sont l'altise d'hiver, le méligèthe, le charançon de la tige du chou et du colza ainsi que le charançon des siliques et la cécidomyie des siliques (Alford et al., 2007; Williams, 2010a).

Le charançon de la tige du colza présente une nuisibilité assez importante caractérisée par des dégâts au niveau des tiges suite au dépôt des œufs. La moelle est dissociée sur quelques centimètres et dans certaines conditions sur une longueur plus importante causant le renflement, la déformation, la torsion voire l'éclatement longitudinal de la tige (CETIOM, 1997, 2013). Le stade de sensibilité du colza se situe entre les stades 32 et 53 et la nuisibilité est observée lorsque les piqûres de ponte sont supérieures à 2 à 3 par tige.

Les dégâts du charançon de la tige du chou sont également dus aux larves minant les pétioles puis détruisant la moelle dans les tiges (CETIOM, 1997; Williams, 2010b). Celui-ci est considéré moins nuisible du fait de la localisation des pontes au niveau des pétioles et non des tiges (Spitzer et al., 2014). Ces dégâts ont pour conséquence la production moindre de siliques, la verse des plants ainsi qu'une augmentation de l'éclatement des siliques et de la susceptibilité aux champignons pathogènes (Petraitiene et al., 2008). Les dommages réalisés par *C. pallidactylus* peuvent causer une réduction de rendement de 5% jusqu'à 32% (Kelm et al., 2000; Spitzer et al., 2014).

Les méligèthes des crucifères sont ponctuellement très nuisibles et les dégâts causés sont irréversibles pour le colza du stade 51 au stade 53. En effet, les adultes entament les boutons floraux pour trouver du pollen. L'endommagement des structure florales, en particulier aux stades boutons verts à jaunes, provoque l'absence de siliques sur les tiges (Hansen, 2003). La taille des boutons floraux joue un rôle dans la gravité des dégâts. Les plus petits sont détruits fortement ou conduits à avorter, empêchant leur développement. Les morsures sont moins préjudiciables pour les boutons plus gros parvenant à se développer malgré la présence de celles-ci. Le seuil de nuisibilité se situe à 1 méligèthe par pied au stade 51 et à 2 à 3 méligèthes par pied au stade 59 (CETIOM, 1997, 2013). Les facteurs climatiques, spécifiquement la température de l'air, jouent un rôle au niveau de l'abondance et la nuisibilité des méligèthes. Ceux-ci peuvent induire des pertes de rendements supérieures à 50% en cas d'absence de mise en place de mesures de contrôle (Gotlin Čuljak et al., 2016).

Les ravageurs des siliques, tels le charançon des siliques (*C. assimilis*) et la cécidomyie des siliques (*D. brassicae*), réalisent respectivement des piqûres et des pontes dans ces dernières (CETIOM, 1997). Les larves consomment les parois et les graines causant l'éclatement des siliques (Alford et al., 2007). Une larve de charançon des siliques peut consommer une à 5 graines par silique et par conséquent induire une réduction du rendement moyen par silique de l'ordre de 19% (Gould, 1975; Free et al., 1978). Une infestation des siliques au niveau de 25,7% provoque une perte de l'ordre de 4,6% (Free et al., 1978). Les charançons des siliques émergent lorsque la température moyenne de l'air atteint 9-12°C et le pic de ce ravageur survient lorsque la température à 5 cm du sol atteint 15°C (Ulmer et al., 2006). Le poids des siliques infectées par des cécidomyies peut être diminué jusqu'à 82% (Williams, 2010b).

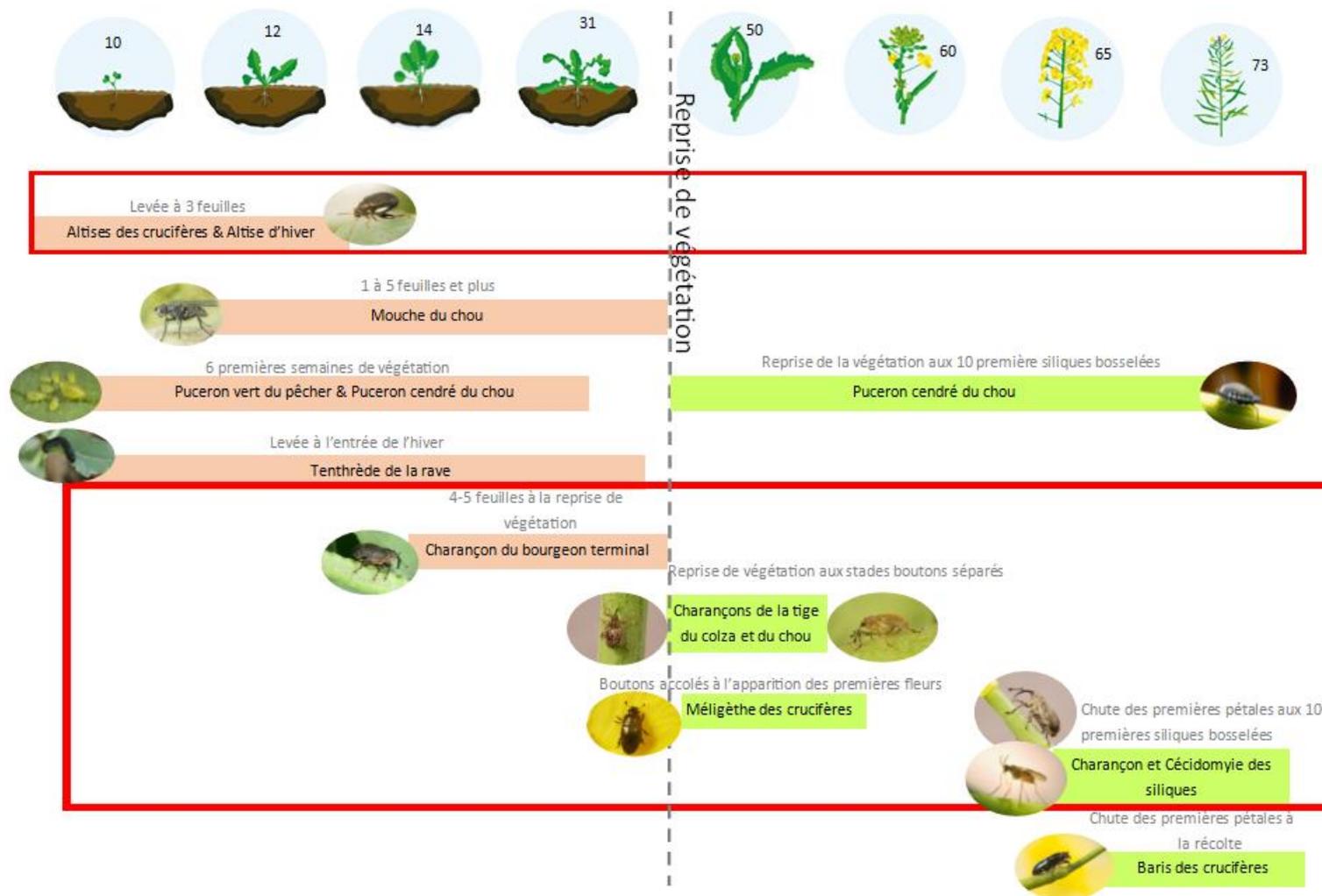


Figure 4: Ravageurs en culture de colza aux différents stades BBCH. Les encadrements oranges représentent les insectes dits d'automne et les encadrements verts représentent les insectes apparaissant au printemps. Les ravageurs présents dans les cadres rouges sont ceux dont le suivi a été effectué durant ce TFE.

2.6. Betterave

2.6.1. Biologie et cycle de développement

Beta vulgaris L. appartient à la famille des Amaranthacées et possède 18 chromosomes (2n). La betterave sucrière est issue d'une hybridation *Beta macrocarpa* × *Beta maritima* (Moule, 1982)

Le cycle de développement de la betterave est caractérisé par trois périodes principales : la période juvénile, la période d'adolescence et la période de maturation ou de reproduction sexuée. La période juvénile s'étendant de la germination au stade 16 feuilles comprend trois phases distinctes : la phase de différenciation des tissus primaires (germination au stade 2 feuilles), la phase de différenciation des tissus secondaires (stade 2 feuilles au stade 6 feuilles) et la phase de décortication et protubérisation (stade 6 feuilles au stade 16 feuilles). La période d'adolescence se distingue par la différenciation des feuilles demeurant en rosette et le grossissement de la racine suite à l'activité des multiples cambiums. Cette période prend fin lorsque la racine a atteint sa structure, son poids et sa composition définitive et le bouquet foliaire comporte 40 feuilles. La période dite de maturation débute en deuxième année ; la betterave cultivée est bisannuelle. Au cours de cette phase, la tige s'allonge, fleurit et fructifie à l'aisselle de chaque feuille. Deux ou trois tiges secondaires peuvent également se développer. La fécondation croisée est de mise au vue de la maturité non synchronisée des étamines et du pistil (Moule, 1982).

2.6.2. Bioagresseurs

De nombreux ravageurs phytophages sont inféodés aux cultures de betteraves et se succèdent suivant le stade et la partie de la plante ciblée (Figure 5). Dès le stade plantule apparaissent la blaniule (*Blaniulus guttulatus* F.) et le scutigérelle (*Scutigera immaculata* N.) au niveau des racines et de la tigelle ainsi que l'atomaire (*Atomaria linearis* S.) impactant également le feuillage. La pégomyie (*Pegomyia betae* C.) est quant à elle spécifique au feuillage à tous les stades de développement tandis que le puceron noir de la fève (*Aphis fabae* S.) et la noctuelle gamma (*Autographa gamma* L.) y sont spécifiques aux stades jeune plante et plante adulte. Le puceron vert du pêcher (*Myzus persicae* S.) et celui de l'échalote (*Myzus ascalonicus* D.) interviennent sur le feuillage au stade plantule et jeune plante. L'altise (*Chaetocnema tibialis* I.) est présente au stade jeune plante sur le feuillage ainsi qu'au stade plantule sur la tigelle et le feuillage. Le nématode de la tige (*Ditylenchus dipsaci* F.) apparaît au stade plantule sur la tigelle et est observé aux stades suivants aussi bien sur la racine que le feuillage (Hermann et al., 2002).

En cas de forte présence, les pucerons occasionnent des dégâts de succion. Ils transmettent également le virus de la jaunisse virale; maladie occasionnant des dégâts d'une importance considérable (Hermann et al., 2002). *M. persicae* est le principal vecteur de virus. Une infection par le virus de la jaunisse grave de la betterave (BYV, Beet yellow virus) mène à des décolorations jaunissantes suivies de nécroses au niveau des plus vieilles feuilles ; causant in fine la sénescence du feuillage (Hossain et al., 2021). Le BMYV (Beet mild yellowing virus) et le BChV (Beet chlorosis virus) induisent des décolorations du feuillage (Hossain et al., 2021). La présence du BMYV peut mener à des pertes de l'ordre de 23% de rendement de racines et de 11% pour le BYV. Le rendement en sucre est par conséquent impacté (Hossain et al., 2021).

Les larves des noctuelles interviennent lors des premiers stades de croissance ; moment critique d'établissement de la culture. Ces larves mastiquent l'ensemble des tissus foliaires et entraînent des entailles dans les tiges au niveau du sol ou sous la surface du sol. Ces dégâts peuvent provoquer le flétrissement et la mort des plantules plus petites (Lemic et al., 2016).

Les symptômes des différentes maladies caractéristiques de la culture de la betterave se succèdent suivant les stades de développement. Au stade plantule peuvent être observés la fonte des semis et le rhizoctone brun au niveau des racines et de la tigelle. Au stade jeune plante s'y ajoute la rhizomanie.

La majorité des maladies apparaissent au stade adulte telles que le mildiou (*Peronospora farinosa* R.), l'oïdium (*Erysiphe betae* W.), la cercosporiose (*Cercospora betiloca* S.), la ramulariose (*Ramularia betiloca* F. & L.), la rouille (*Uromyces betae*), le phoma (*Phoma betae* F.), l'alternariose (*Alternaria tenuis* N.) et la jaunisse virale ; toutes observables au niveau du feuillage (Hermann et al., 2002).

La fonte des semis est caractérisée soit par le noircissement ou brunissement de la partie inférieure de l'hypocotyle de la radicule des plantules soit par le brunissement de l'hypocotyle et de la base des cotylédons accompagné par un étranglement au niveau du collet (Hermann et al., 2002).

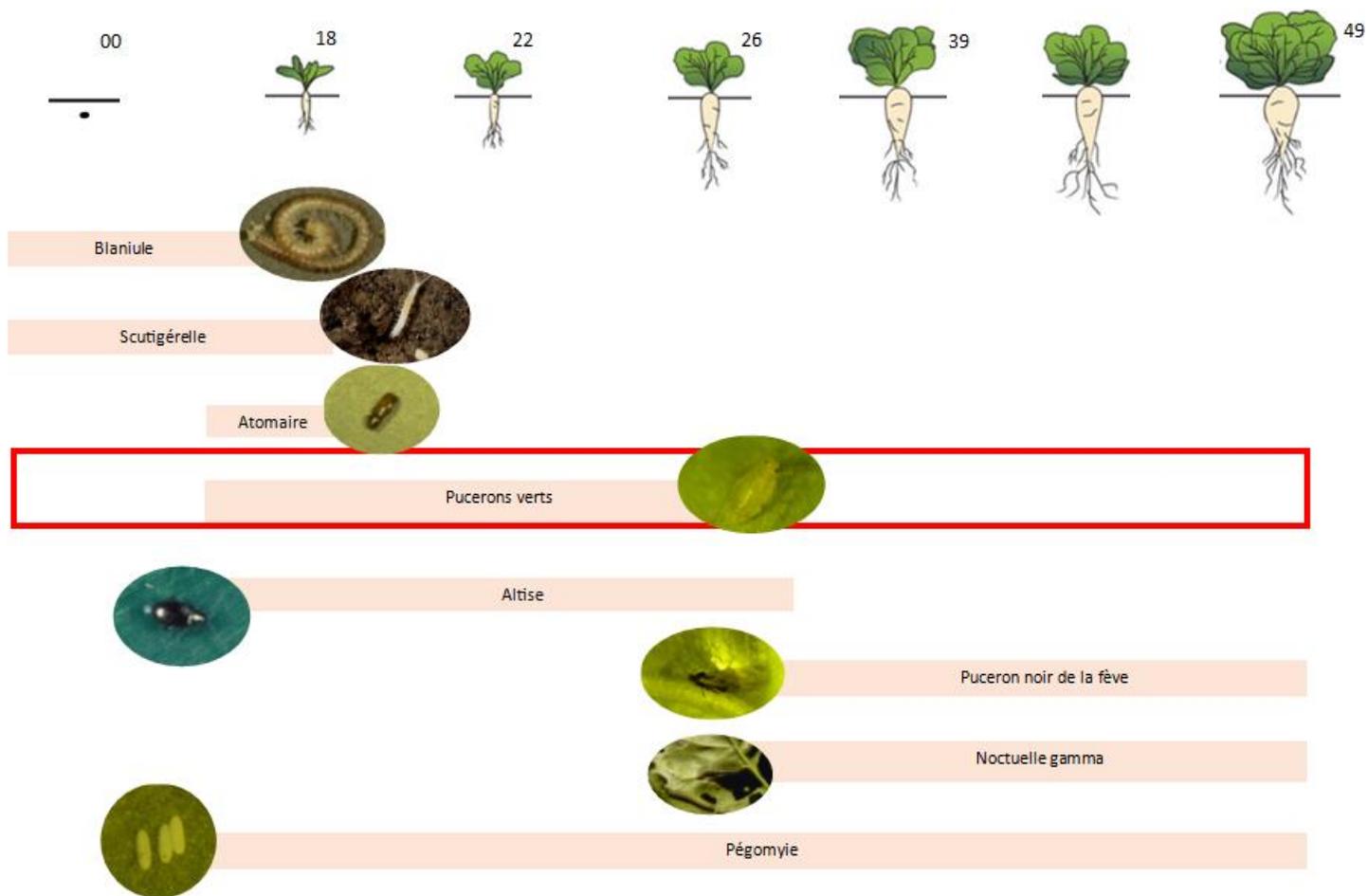


Figure 5: Ravageurs de la culture de la betterave mis en relation avec les stades de la betterave durant lesquels ces ravageurs et les symptômes associés sont observés. Les ravageurs présents dans les cadres rouges sont ceux pour lesquels le suivi a été effectué dans ce travail.

2.7. Maïs

2.7.1. Biologie et cycle de développement

Zea mays L. est une graminée monoïque, possédant 20 chromosomes et présentant un appareil végétatif de grande taille. La tige, le plus souvent unique, mesure de 1 à 3 mètres. L'appareil reproducteur présente des organes séparés. Les fleurs mâles, apparaissant les premières, sont groupées en une panicule et ne portent que des étamines entourées de glumelles. Les fleurs femelles sont groupées en un ou plusieurs épis à l'aisselle de feuilles et n'apparaissent que par leurs longs styles sortant de bractées ou spathes entourant chaque épi (Soltner, 2005).

Le cycle végétatif est caractérisé par 3 phases distinctes. La période végétative s'étend de la germination au stade 6-8 feuilles. Le maïs exige une température minimale de 5°C pour sa germination ne démarrant qu'à partir de 10°C. Celle-ci prend une dizaine de jours ; le maïs s'installe et croît faiblement. La croissance est dépendante de la température et de la facilité de réchauffement du sol. La période dite reproductrice débute au stade 6-8 feuilles ; stade auquel l'apex développe en quelques jours le panicule mâle ; suit 8 à 10 jours plus tard, l'évolution d'un ou deux bourgeons axillaires en épis femelles. S'ensuivent la floraison mâle et la fécondation marquant la fin de la seconde période du cycle végétatif. Quelques jours après l'apparition de la panicule mâle, l'émission du pollen commence. Suite à la non-synchronisation de l'émission de pollen et de l'apparition des soies sur un même pied, la fécondation est presque nécessairement croisée. La phase de développement du grain et de maturation est caractérisée par 3 stades au cours desquels les grains se gonflent d'abord en eau puis en réserves. Le stade laiteux correspond à 80% d'eau ; le pourcentage d'eau se réduit à 50% au stade pâteux et à 35-38% au stade rayable à l'ongle (Soltner, 2005).

2.7.2. Bioagresseurs

Les ravageurs du maïs diffèrent selon les stades de la culture. La mouche des semis (*Delia platura* M.) et les taupins du genre *Agriotes* et *Athous* impactent respectivement de la levée au stade 3-4 feuilles et de la levée au stade 5-6 feuilles. Les dégâts sur les jeunes plantes jusqu'au dégagement de la panicule sont dus aux oscinies (*Oscinella frit* L.), scutigérelles (*Scutigera immaculata* N.) impactant dès la germination. La pyrale du maïs impacte la culture de maïs du stade 10-12 feuilles à la sénescence. Des dégâts peuvent également être causés par la noctuelle terricole (*Agrotis segetum*, D. & S.) ou la noctuelle défoliatrice (*Autographa gamma*, L.). Différentes espèces de pucerons sont impactantes à des stades successifs. *Metopolophium dirhodum* W. peut être observé du stade 3-4 feuilles à 10-12 feuilles ; *Sitibion avenae* F. est quant à lui observé du stade 5-6 feuilles au stade de floraison. *Rhopalosiphum padi* L. est présent de la floraison au stade laiteux-pâteux (Arvalis, 2012; CIPF, 2020).

Les pucerons sont l'un des ravageurs principaux du maïs. Ces insectes suceurs perturbent le transport de l'eau ainsi que le niveau tissulaire de chlorophylle (Psota et al., 2008) et augmentent également par leur action la probabilité d'infection par des pathogènes et la transmission de virus (Arvalis, 2012; Berés, 2015). Les pucerons *M. dirhodum* et *S. avenae* peuvent également impacter la fécondation des épis suite au recouvrement des soies par le miellat (Arvalis, 2012).

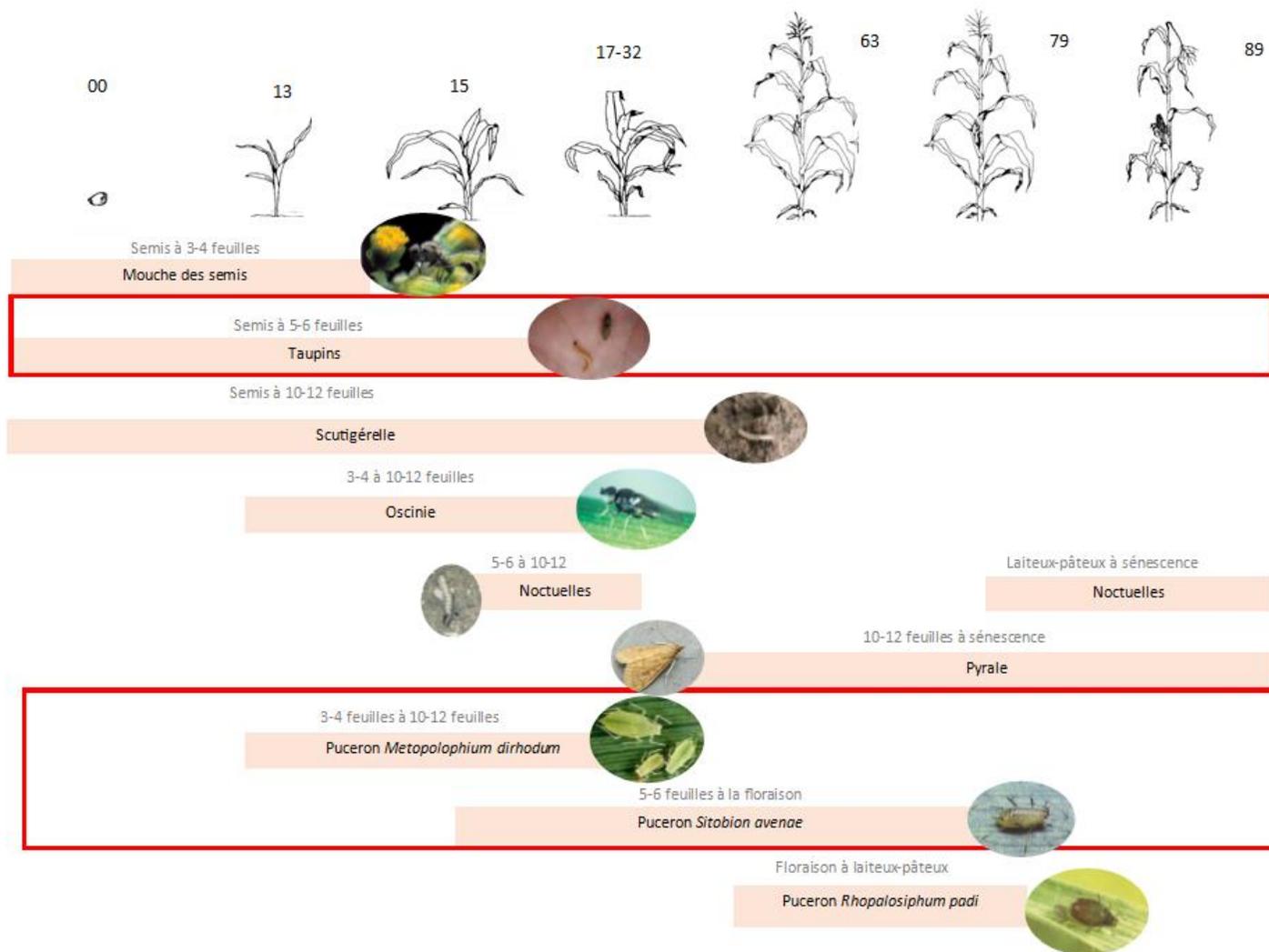


Figure 6: Ravageurs de la culture de maïs mis en relation avec les stades de la culture durant lesquels ces ravageurs et les symptômes associés sont observés. Les ravageurs présents dans les cadres rouges sont ceux pour lesquels le suivi a été effectué dans ce travail.

2.8. Cameline

2.8.1. Biologie et cycle de développement

Camelin sativa (L.) Crantz, dicotylée originaire du sud-est de l'Europe et sud-ouest de l'Asie, appartient à la famille des *Brassicaceae* et était largement cultivée jusqu'au début du 20^{ème} siècle (Zanetti et al., 2017, 2021). Il s'agit d'une culture annuelle d'été ou bisannuelle d'hiver; source de protéine et d'huile qui a attiré l'attention des scientifiques (Zubr, 1997; Zanetti et al., 2017, 2021). Cette culture présente une croissance très rapide avec une floraison ayant lieu entre le 50 et 70^{ème} jour pour atteindre la maturité en 100 jours (Moule, 1982).

2.8.2. Bioagresseurs

La culture de cameline est dite soit résistante aux maladies et aux ravageurs courants des Brassicacées (Zanetti et al., 2017), soit affectée de manière peu fréquente par les pathogènes (Eynck et al., 2009). Cette absence de pathogènes de culture peut être dû aux faibles surfaces cultivées de cameline (Vollmann et al., 2001; Eynck et al., 2009). La résistance est établie contre l'alternaria (*Alternaria brassicae* S. et *Alternaria brassicicola* W.), le pied noir (*Leptosphaeria maculans* (Desmaz.) Ces & De Not.), le mildiou (*Hyaloperonospora camelinae*), le sclerotinia (*Sclerotinia sclerotiorum* de B.). L'alternaria est une maladie économiquement importante pour les cultures de crucifères. Cependant, la cameline est susceptible d'être affectée par *Plasmodiophora brassicae* W. causant la hernie du chou ainsi que par *Albugo candida* R., agent pathogène de la rouille blanche et d'autres agents pathogènes tels que *Pseudomonas syringae* V., *Rhizoctonia solani* K., *Erysiphe spp.* et *Botrytis cinerea* (Vollmann et al., 2001; Eynck et al., 2009).

3. Objectifs

L'essai ECOFOODSYSTEM a démarré en novembre 2019 par la mise en place d'une culture de froment d'hiver en vue d'homogénéiser l'ensemble des parcelles constituant l'essai. En septembre 2020, l'année 1 a débuté par le semis des parcelles de colza. Cette expérience structurante a pour objectif de tester sur le long terme différents types de rotations innovantes répondant à une demande sociétale. L'objectif est de déterminer la durabilité et la résilience du système à travers différentes prises de mesures.

Ce travail de fin d'études s'inscrit dans le suivi de l'ensemble des bioagresseurs ; ravageurs, maladies et adventices. Il s'agira durant ce travail de mettre au point tous les protocoles nécessaires au suivi des bioagresseurs inféodés aux différentes cultures. Cette mise au point servira aux années culturales futures.

Un objectif de ce travail sera le relevé de la flore adventice exprimée au champ au sein des différentes parcelles relatives aux quatre rotations. La caractérisation du stock semencier relatif à chacune des parcelles sera mise en relation avec les relevés floristiques. Ces mesures permettront d'évaluer l'homogénéité des parcelles quant à leur diversité floristique et niveau d'infestation. Plus spécifiquement, il s'agira également de comparer le niveau de salissement des parcelles cultivées selon les deux modalités de la rotation dite de référence ; soit l'une ne faisant l'usage d'aucun pesticide et l'autre autorisant l'application d'herbicides.

Un second objectif est l'identification et la quantification des bioagresseurs présents dans les différentes cultures en place dans l'essai ECOFOODSYSTEM pour déterminer si le seuil d'intervention est atteint ou non. Ce suivi se concentrera sur les principaux ravageurs inféodés aux différentes cultures suivant leur cycle de développement. Une attention sera également portée sur les maladies spécifiques et le niveau d'infestation des parcelles. Ces mesures seront un premier pas dans la détermination de la durabilité et la résilience sur le long terme des rotations innovantes mises en place dans un contexte fortement agroécologique. Cette première année d'essai permettra également de déterminer si les 4 blocs constituant l'essai ECOFOODSYSTEM font face à un niveau équivalent de bioagresseurs.

4. Matériel et méthodes

4.1. Localisation de l'essai

Les parcelles expérimentales sont situées à Gembloux (50°33'58.7"N 4°42'32.1"E), région agricole de Hesbaye. L'essai est situé sur des zones de sols limoneux à drainage naturel favorable (WalOnMap, sd).

4.2. Dispositif expérimental de l'essai ECOFOODSYSTEM

Les parcelles de l'essai ECOFOODSYSTEM sont réparties aléatoirement en 4 blocs placés sur des zones de sol relativement homogènes au sein des 30 hectares où l'essai prend place. Quatre rotations différentes sont testées dans ce système et sont disposées aléatoirement au sein de chaque bloc (Annexe 1, Annexe 2, Annexe 3) : une rotation de référence, une rotation dite phyto, une rotation agroécologique et une rotation dite végan. Chaque rotation est répétée 4 fois et deux temporalités sont considérées pour chacune d'elle : l'année 1, chaque rotation débutera en culture 1 et en culture 5.

Les blocs de 84 m × 144 m sont donc constitués de 8 parcelles de 18 m × 84 m, soient 4 parcelles en temporalité 1 et 4 parcelles en temporalité 2 (Figure 7). Au total, chaque temporalité de chaque rotation est répétée 4 fois. Au sein de chaque parcelle dite « brute » de 18 m sur 84 m, une parcelle dite « nette » de 42 m sur 15m est délimitée (Figure 8). Celle-ci est considérée comme étant parfaitement homogène. Chacune des parcelles est subdivisée dans le sens de la longueur en une partie permettant des tests destructifs et une partie n'admettant aucune destruction (pour la caractérisation du rendement).

Les blocs de 8 parcelles sont bordés de part et d'autre par une bande fleurie, parallèle aux bandes des différentes rotations (Figure 7). Ces bandes sont constituées de trois mélanges de biodiversité croissante.



Figure 7: Disposition des blocs au sein de la plateforme expérimentale.

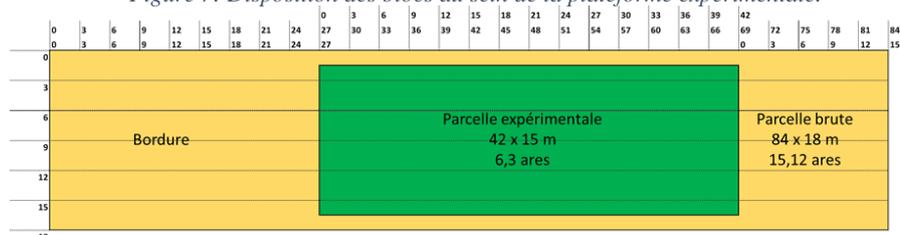


Figure 8: Dimensions d'une parcelle d'essai

L'ensemble des itinéraires techniques ainsi que les caractéristiques des différentes cultures sont détaillés dans le Tableau 2.

Tableau 2: Opérations culturales et informations relatives à chaque culture

	Colza	Betterave	Maïs	Cameline
Variété	DK EXPANSION (10%) & ALICIA (90%)	MYRTILLE	ANOVI CS	Mélanges de variétés
Date de semis	04/09/2020	22/04/201	12/05/2021	27/04/2021
Densité de semis	533 333 plants/ha	100 000 plants/ha	100 000 plants/ha	3000000 plants/ha
Largeur d'interligne	-----	50 cm	75 cm	----
Labour	04/09/2020	20/04/2021	20/04/2021	20/04/2021
Engrais	23/02/2021 : Azote liquide 39% k 23/03/2021 : Sulfazote	21/04/2021 : Azote liquide 39% k	11/05/2021 : Azote liquide 39% k	----
Désherbage phyto	14/12/2020 BUTISAN+	20/05/2021 DIANAL 160, ETHOMAT 500, ALLITRON 700 SC, SAFARI VEGETOP 30/05/2021 : DIANAL 160, ETHOMAT 500 GOLTIX QUEEN, SAFARI VEGETOP 08/06/2020: DIANAL 160, ETHOMAT 500 GOLTIX QUEEN, SAFARI VEGETOP 19/06/2021 : CENTIUM 360 CS FRONTIER ELITE	----	----
Désherbage mécanique	----	09/06/2021 : Passage de la bineuse ² 16/06/2021 : Passage de la bineuse	15/06/2021 : Passage de la houe rotative 26/06/2021 : Passage de la bineuse 07/07/2021 : Passage de la bineuse	15/06/2021 : Passage de la houe rotative

² Les 2 passages de la bineuse ont été réalisées dans les parcelles de la rotation de référence gérée en zéro phyto ainsi que dans les parcelles de la rotation dite phyto autorisant l'application d'herbicides.

4.3. Suivi des cultures

4.3.1. Suivi des stades

L'observation du stade de développement a été réalisée selon les échelles BBCH en culture de colza, betteraves, maïs et cameline sur base de 40 plants sélectionnés aléatoirement dans chaque culture de manière hebdomadaire (Weber et al., 1990; Lancashire et al., 1991; Meier et al., 1993; Martinelli et al., 2011) (Annexe 4, Annexe 5, Annexe 6, Annexe 7). Respectivement pour les cultures de colza, betteraves, maïs et cameline, les observations ont été réalisées du 6 avril au 21 juin, 12 mai au 23 juin, 12 mai au 30 juin et 27 avril au 25 juin.

4.3.2. Levées

Afin d'estimer la levée des plantules, un comptage a été réalisé un mois et demi après le semis de la cameline. Le comptage a été réalisé dans des quadrats de 50 cm sur 50 cm.

Les comptages en betteraves et maïs ont été réalisés le 8 juin soit respectivement un mois et demi et un mois après le semis. Les plantules ont été comptabilisées à 4 reprises sur 2 mètres linéaires.

Concernant la culture de colza, le nombre de plants a été comptabilisé le 10 mai lors des prélèvements de biomasse. Le comptage a été réalisé dans des quadrats de 50 cm sur 50 cm.

4.4. Suivi du stock semencier

Cinq quadrats de 0,25 m² sont considérés par parcelle de 18 m × 84 m, soit 160 points d'échantillonnage. À chaque coin d'un quadrat, 4 carottes de sol sont prélevées avec une tarière de 25 cm de long et 2 cm de diamètre. Les échantillons de sol stockés dans un sac ont été mis en chambre froide (4°C) durant 38 jours avant la mise en place du suivi du stock semencier. Les échantillons de sol tamisés (0,5 cm) sont mis en culture dans des bacs non perforés (36 cm × 22cm) sur un lit de billes d'argex de 3 cm, superposé par une épaisseur d'un cm de terreau universel. Un tube de PVC, de 5 cm de haut et 3,2 cm de diamètre, est posé dans un coin du bac afin de permettre un arrosage par le bas (Figure 9, Figure 10). En cas de fort assèchement des stocks semenciers, ceux-ci sont brumisés afin de faciliter leur réhydratation. Les bacs contenant les échantillons de sol sont disposés aléatoirement dans une serre chauffée. Les adventices qui lèvent sont identifiées, comptées puis retirées dès que le stade de développement le permet. En cas d'identification non résolue, la plantule est transplantée dans un pot ; permettant à celle-ci de fleurir en vue de l'identifier.

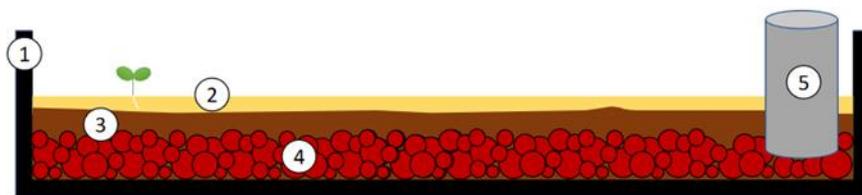


Figure 9: Protocole de mise en culture des échantillons de sol en vue de l'évaluation du stock semencier. 1: Bac de 792 cm². 2: Echantillon composite « quadrat » (0,5cm). 3 : Terreau universel (1cm). 4 : Argex (3cm). 5 : Morceau de tuyau PVC (D=3,2cm, L=5cm).

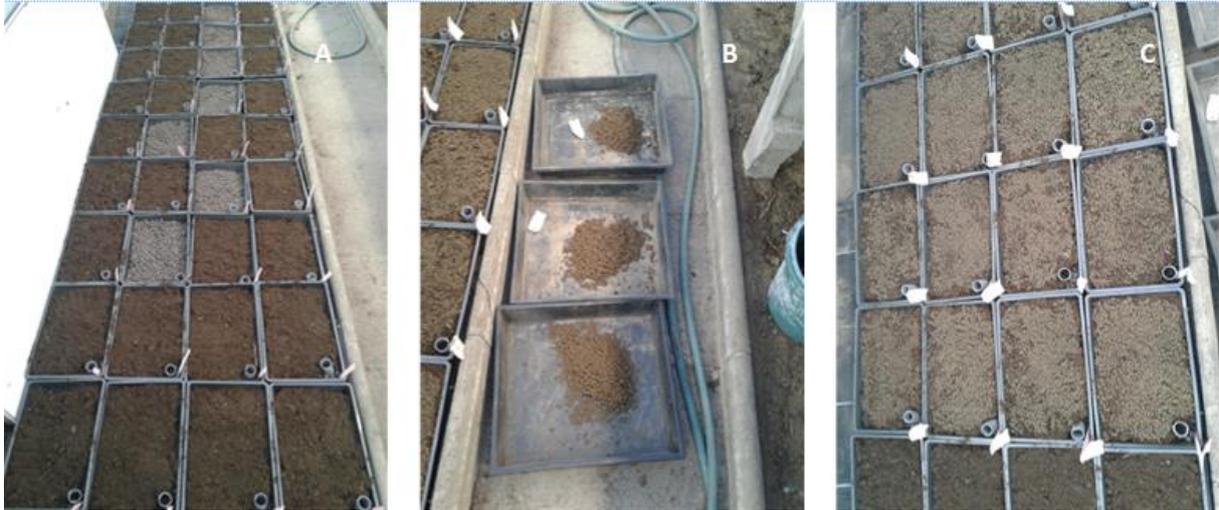


Figure 10: Mise en place du suivi du stock semencier. A: Mise en place des billes d'argex sur 3 cm d'épaisseur superposées par une couche de terreau universel de 1cm. B: Echantillons émiétés. C: Mise en culture des échantillons.

Le 28 mai, l'ensemble des plantules présentes dans les bacs semenciers ont été transplantées dans des pots afin de permettre l'arrêt de l'arrosage jusqu'au 10 juin et induire une stimulation de la germination via une interruption de celle-ci (Espeland et al., 2010; Mahé et al., 2021). Au 10 juin, la couche de terre constituant le stock semencier a été retravaillée et émiétée manuellement avant d'être réarrosée à deux reprises afin de permettre une réhydratation complète (Figure 11).



Figure 11: Emiettement de l'échantillon de sol à la fin du stress hydrique

4.5. Relevés de la flore adventice exprimée

4.5.1. Culture de colza

Afin de caractériser la composition de la flore adventice et le niveau d'infestation des différentes parcelles, 5 quadrats de 0,5 m sur 0,5 m ont été déposés sur la longueur de chaque parcelle (84m × 18m) aléatoirement dans la partie permettant la destruction. Les adventices y ont été identifiées et comptabilisées les 10 et 11 mars 2021 dans les 16 parcelles de *B. napus*.

Les 10 et 11 mai, les adventices et les plants de colza au niveau de ces mêmes quadrats ont été identifiés, comptabilisés et prélevés (Figure 12). Le poids frais des plants de colza et de chaque espèce d'adventices ont été mesurés séparément pour chaque quadrat. Il en est de même pour le poids sec après 10 jours de mise à l'étuve à 60°C.

Les pourcentages de biomasse ont été calculés selon le rapport entre la biomasse d'adventices et la biomasse totale, soit la somme de la biomasse d'adventices et de la biomasse du colza.



Figure 12: Prélèvement des adventices. A : Repérage du quadrat à l'aide de bâtons. B : Prélèvement des plants de colza. C : Prélèvement des adventices

4.5.2. Culture de betterave

Afin de caractériser la composition de la flore adventice et comparer l'efficacité de l'herbicide et du passage mécanique de la bineuse, 4 quadrats de 1 m sur 50 cm ont été placés aléatoirement dans le sens de la longueur de la parcelle et centrés sur une ligne de semis. Suivant ces mesures, 5 betteraves sont présentes par quadrat (Figure 13). Une distinction entre le rang et l'inter-rang est prise lors du comptage et l'identification des adventices (Mamarot et al., 2011).

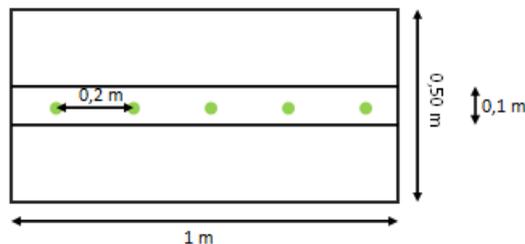


Figure 13: Schéma des dimensions du quadrat utilisé en betterave. Les points verts représentent les betteraves.

Trois comptages ont été réalisés dans les parcelles de betteraves ; chacun succédant une opération culturale différente (Tableau 3). Le prélèvement des adventices et des betteraves s'est opéré à la fermeture du rang des parcelles phyto. Les betteraves ont été pesées lors du prélèvement pour obtenir le poids frais et après 12 jours de mise à l'étuve à 60°C pour obtenir le poids sec.

Tableau 3: Dates des différentes opérations culturales et comptages

Date	Opération culturale/Comptage
22 Avril 2021	Semis
12 Mai 2021	1 ^{er} comptage
20 Mai 2021	Herbicides en parcelles phyto
30 Mai 2021	Herbicides en parcelles phyto
1 Juin 2021	2 ^{ème} comptage
9 Juin 2021	Passage de la bineuse dans les parcelles phyto et de référence
16 Juin 2021	Passage de la bineuse dans les parcelles phyto et de référence
24 Juin 2021	3 ^{ème} comptage
20 Juillet 2021	Prélèvement des adventices et des betteraves

4.5.3. Culture de maïs

La caractérisation et la quantification de la flore adventice sont réalisées à l'aide de 4 quadrats de 1 m sur 75 cm placés aléatoirement dans le sens de la longueur de la parcelle et centrés sur la ligne de semis (Figure 14). La figure 15 présente le schéma du quadrat ainsi que les 7,5 plants de maïs, espacés de 13,3 cm, présents dans le rang de 75 cm. Trois comptages ont été réalisés dans les parcelles de maïs ; chacun succédant une opération culturale différente (Tableau 4).



Figure 14: Photo du quadrat disposé sur le rang

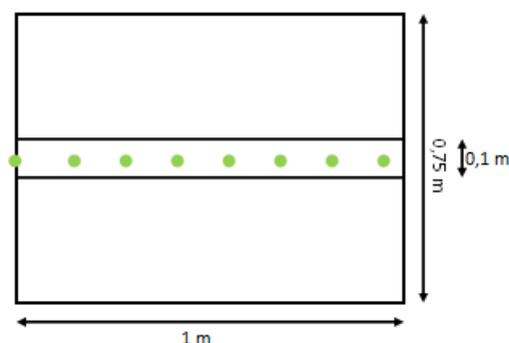


Figure 15: Schéma des dimensions du quadrat utilisé en maïs. Les points verts représentent les plants de maïs espacés de 13,3 cm.

Tableau 4: Dates des différentes opérations culturales et comptages d'adventices en parcelles de maïs

Date	Opération culturale/Comptage
12 Mai 2021	Semis
9 Juin 2021	1 ^{er} comptage
15 Juin 2021	Passage de la houe rotative
24 Juin 2021	2 ^{ème} comptage
26 Juin 2021	Passage de la bineuse
7 Juillet 2021	Passage de la bineuse
19 Juillet 2021	3 ^{ème} comptage

4.5.4. Culture de cameline

L'analyse de la composition de la flore adventice est basée sur 5 quadrats de 50 cm sur 50 cm disposés aléatoirement dans le sens de la longueur de la parcelle. Le quadrat est déposé de façon telle à contenir 4 lignes de semis contiguës (Figure 16). Deux relevés ont été effectués ; l'un le 7 juin et l'autre le 25 juin après le passage de la houe rotative le 15 juin. Les pourcentages de biomasse ont été calculés selon le rapport entre la biomasse d'adventices et la biomasse totale, soit la somme de la biomasse d'adventices et de la biomasse de la cameline.



Figure 16: Disposition du quadrat au niveau de 4 lignes de semis contiguës.

Le 25 juin, les adventices ainsi que les plants de cameline de ces mêmes quadrats ont été comptabilisés et prélevés. Les plants de cameline ainsi que chaque espèce d'adventices ont été pesés à la récolte pour obtenir le poids frais ainsi que le poids sec après 4 jours à l'étuve à 60°. Les espèces adventices présentant un très faible poids ont été rassemblées en un seul groupe d'adventices avant d'être pesées.

4.6. Suivi des bio agresseurs

4.6.1. Piégeage des insectes en colza

Les 4 parcelles (84 m × 18 m) contiguës cultivées avec *B. napus* ont été considérées comme étant une seule et grande parcelle de 84 m sur 72 m au sein de laquelle une zone dite nette de 42 m sur 69 m a été délimitée. Au sein de cette zone, 5 pièges cuvettes jaunes ont été placés comme indiqué dans le schéma de la Figure 17. Ceux-ci sont remplis d'un litre d'eau additionnée de quelques gouttes de savon inodore. Le relevé des pièges a débuté le 1^{er} mars et a été réalisé hebdomadairement jusqu'au 10 mai inclus. L'ensemble des insectes présents dans le piège sont récupérés au travers d'un tamis et transvasés dans des piluliers contenant de l'alcool dénaturé à 70°, avant d'être identifiés sous binoculaire.

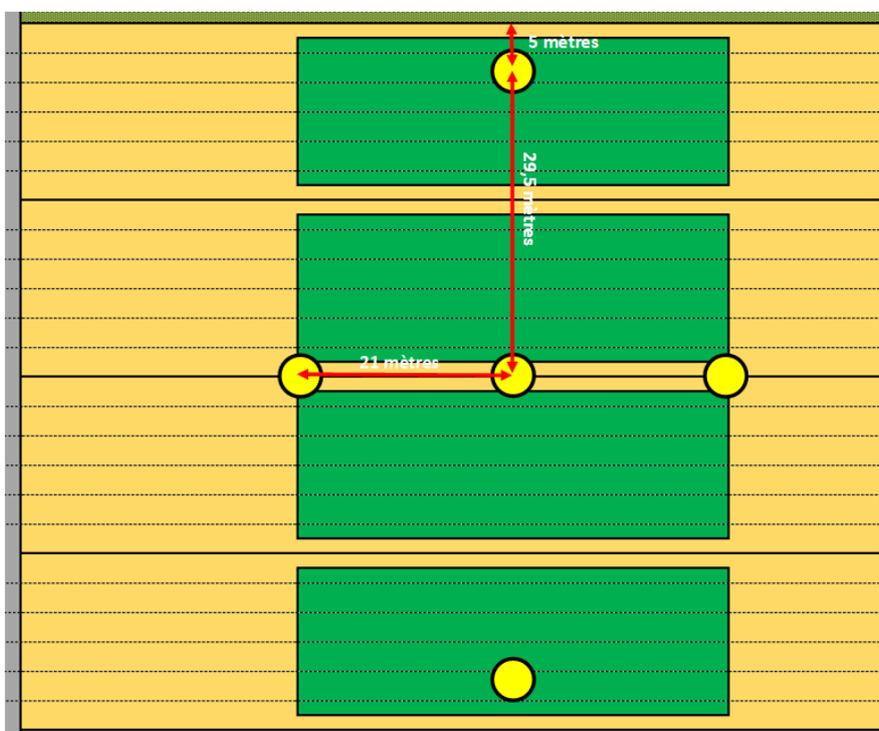


Figure 17: Plan de piégeage en parcelles de colza. Les disques jaunes représentent les pièges jaunes disposés dans la grande parcelle nette de 42m sur 69m.

4.6.2. Dissection des tiges de colza

Au sein des 4 grandes parcelles de 84 m sur 72 m, 30 plants de *B. napus* ont été sélectionnés aléatoirement au sein des parties autorisant la destruction. Ces plants ont été disséqués longitudinalement au niveau de la tige et des pétioles afin d'identifier et dénombrer les larves d'altises et de charançons du bourgeon terminal (Figure 18). Cette dissection a été opérée le 23 mars sur du colza au stade 33-34 sur l'échelle BBCH (Weber et al., 1990).



Figure 18: Dissection des plants de colza en vue du comptage des larves d'altises et de charançons du bourgeon terminal.

Une deuxième dissection, des tiges uniquement, de 30 plants sélectionnés aléatoirement a été effectuée le 18 mai, au stade 65-67 de l'échelle BBCH, afin de quantifier les larves de charançons de la tige du colza et de la tige du chou (Weber et al., 1990; Lancashire et al., 1991; (EPPO) Organization European and Mediterranean Plant Protection, 2003; Zaller et al., 2008; Milovac et al., 2017). L'ensemble des tiges ont été découpées longitudinalement (Figure 19).



Figure 19: Dissection longitudinale des tiges en vue du comptage des larves de charançons de la tige du colza et de la tige du chou.

4.6.3. Dissection des siliques

Au stade 75-77 de l'échelle BBCH (Weber et al., 1990; Lancashire et al., 1991), 30 inflorescences de la tige principale ont été sélectionnées aléatoirement au sein des 4 grandes parcelles de 84 m sur 72 m. Pour chaque tige, le nombre de siliques développées a été comptabilisé (Figure 20). Chaque silique constituant l'inflorescence a été découpée afin de déterminer la présence ou non de larves de cécidomyies au sein de celle-ci. Dans le premier cas, les larves présentes ont été comptabilisées (Figure 20).



Figure 20: Dissection des siliques. A : Comptage des larves de cécidomyies. B : Comptage des siliques développées et non développées

4.6.4. Comptage des méligèthes

Au stade critique 59 de l'échelle BBCH, (Weber et al., 1990; Lancashire et al., 1991), 40 plants ont été considérés par grande parcelle (84 m × 72 m) afin d'y dénombrer le nombre de *Meligethes* sp. au niveau des boutons floraux. Les inflorescences sont secouées au-dessus d'un piège jaune vide afin de faciliter le comptage des individus. Les comptages ont été réalisés le 12 avril et le 20 avril.

4.6.5. Comptage des charançons des siliques

Dans le but de caractériser les populations de charançons des siliques en fonction des blocs, 40 plants sont sélectionnés aléatoirement par grande parcelle (84 m × 72 m) afin de les comptabiliser au niveau des inflorescences et des siliques. Les dénombrements ont été effectués les 7 et 27 mai, respectivement aux stades 65 et 67-69 de l'échelle BBCH (Weber et al., 1990; Lancashire et al., 1991).

4.6.6. Comptage des pucerons dans les parcelles de betteraves

Afin d'évaluer la pression en pucerons au fil du temps, 40 plants par parcelle ont été considérés afin d'y compter le nombre de pucerons verts aptères et de pucerons noirs de la fève. Les comptages ont démarré le 20 mai et se sont succédés hebdomadairement : 27 mai, 3 juin, 10 juin et 17 juin.

4.6.7. Estimation du niveau de populations de taupins dans les parcelles de maïs

Lors du semis de la culture, le 12 mai, deux pièges dit à appâts ont été disposés dans le sens de la longueur à 20 mètres du bord de part et d'autre de la parcelle. Les pièges ont été conçus selon le protocole de Furlan (2014). Chaque piège consiste en un pot en plastique, percé de trous sur le fond, de 10 cm de diamètre et 8 cm de haut. Celui-ci est rempli avec 3 cl de semences de maïs et 3 cl de semences de froment humidifiées durant 7 heures, de la vermiculite complète le contenu du piège. Les pièges ont été placés à 4-5 cm sous la surface du sol et une plaque de plastique a été disposée à 1-2 cm de distance du bord du pot en plastique (Furlan, 2014). Le contenu des pièges a été observé hebdomadairement jusqu'à l'enlèvement des pièges hors des parcelles, le 9 juin (Figure 21).



Figure 21: Piège dit à appât destiné à l'estimation du niveau de populations de taupins. A: Observation du contenu du piège le 20 mai. B: Enlèvement des pièges le 9 juin.

4.6.8. Comptage des pucerons dans les parcelles de maïs

L'évaluation de la pression en pucerons a également été réalisée dans les parcelles de maïs selon le même protocole appliqué en parcelles de betteraves. Deux comptages ont été effectués le 18 juin et le 25 juin.

4.7. Analyses statistiques

Les analyses statistiques ont été réalisées sur le programme RStudio version 3.6 à l'aide des packages AER, agricolae, car, emmeans, FactoMineR, ggplot2, lme4, lmPerm, MASS, multcomp, multcompView et pscl.

Les parcelles expérimentales de l'essai ECOFOODSYSTEM sont localisées au même endroit sur une période de 8 ans. Par conséquent, le facteur bloc a été considéré tel qu'un facteur fixe. À plusieurs reprises, il s'agissait de l'unique facteur pris en compte en cette première année de mise en place de l'essai.

Les données issues de comptages sont traitées suivant un modèle linéaire généralisé (GLM). La distribution des réponses selon une loi de Poisson est généralement supposée. Néanmoins, pour chaque analyse, la distribution des comptages observés a été comparée à la distribution théorique des comptages sous une loi de poisson de paramètre Lambda. Le paramètre phi permet d'estimer s'il y a surdispersion ; soit lorsque ce dernier est supérieur à 1. Ce paramètre était estimé par le ratio de la déviance résiduelle sur le nombre de degrés de liberté du modèle. En cas de surdispersion, une structure d'erreur telle que « quasi Poisson » ou « négative binomiale » a été utilisée.

En cas d'une très grande proportion de zéros, tel était le cas lors des comptages de pucerons, une distribution de type ZIP (« Zero-Inflated Poisson ») a été appliquée.

Dans le cas de la prise en considération de la date, considérée telle un facteur aléatoire, un modèle linéaire généralisé mixte a été appliqué.

Un modèle linéaire généralisé mixte (GLMM) a été appliquée lors d'analyses visant à étudier l'efficacité de la réalisation d'un désherbage mécanique

Pour chaque GLM et GLMM, une ANOVA a été réalisée. En cas de structure d'erreur « quasi Poisson », un test de Fisher a été spécifié au lieu du test de Chi² de Wald (Type II) réalisé par défaut. Lorsqu'une différence significative a été mise en évidence par l'ANOVA pour l'un des facteurs, le calcul des moyennes marginales estimées a été réalisé via le package emmeans. Celui-ci permet de réaliser de multiples comparaisons par paires pour déterminer quelles moyennes sont considérées significativement différentes.

En cas de données non issues de comptages, une ANOVA à 1, 2 ou 3 facteurs fixes a été réalisée.

Pour chaque ANOVA, la normalité des résidus (test de Shapiro) et l'égalité des variances (test de bartlett) ont été vérifiées. Si ces conditions n'étaient pas respectées, une ANOVA par permutation a été réalisée. En présence d'une différence significative mise en évidence par l'ANOVA pour un ou plusieurs facteurs, une hiérarchisation des moyennes a été réalisée par le test de Newman et Keuls (SNK.)

Concernant les relevés d'adventices, une analyse en composantes principales (PCA) a été réalisée afin de visualiser et analyser les variables explicatives ainsi que leur corrélation.

Les données brutes des analyses statistiques se trouvent en annexes (Annexe 13, Annexe 14, Annexe 15, Annexe 16, Annexe 17, Annexe 18, Annexe 19).

5. Résultats

5.1. Suivi des cultures

5.1.1. Stades de développement

L'évolution des stades en culture de colza est détaillée dans le Tableau 5. Le colza dans les parcelles des blocs 1 et 2 était à des stades plus avancés en comparaison des blocs 3 et 4.

Tableau 5: Tableau de l'évolution des stades en culture de colza.

Date	Stade BBCH Bloc 1	Stade BBCH Bloc 2	Stade BBCH Bloc 3	Stade BBCH Bloc 4
04 Septembre	00	00	00	00
10 Mars	33	33	32	32
22 Mars	34	34	33	33
6 Avril	55	55	55	55
13 Avril	59	59	57	57
20 Avril	61	61	58	58
27 Avril	63	63	60	60
4 Mai	64	64	63	63
11 Mai	65	65	65	65
18 Mai	67	67	67	67
25 Mai	69	69	69	69
21 Juin	77	77	76	76

Les betteraves des parcelles dans les blocs 1 et 2 se trouvaient ici aussi à des stades plus avancés en comparaison des betteraves présentes dans les blocs 3 et 4 (Tableau 6). Fin juin, les stades de développement entre les parcelles traitées avec un herbicide et celles zéro pesticide étaient différents, particulièrement dans les blocs 1 et 2.

Tableau 6: Tableau de l'évolution des stades de développement en culture de betteraves dite phyto .

Date	Stade BBCH Bloc 1	Stade BBCH Bloc 2	Stade BBCH Bloc 3	Stade BBCH Bloc 4
22 Avril	00	00	00	00
12 Mai	10	10	10	10
19 Mai	12	12	12	12
26 Mai	12	12	12	12
2 Juin	15	15	14	14
9 Juin	17	17	16	16
16 Juin	19	19	17	17
23 Juin	33	33	31	31

Les stades de développement des parcelles de maïs sont présents dans le Tableau 7. Aucune différence entre les blocs n'a été mise en évidence.

Tableau 7: Tableau de l'évolution des stades de développement en culture de maïs

Date	Stade BBCH (Blocs 1 à 4)
12 Mai	00
2 Juin	10
9 juin	12
16 Juin	15
23 Juin	17
30 Juin	19

L'évolution des stades de développement de la culture de cameline est précisée dans le Tableau 8. Aucune différence de développement n'a été mise en évidence entre les blocs.

Tableau 8: Tableau de l'évolution des stades de développement en culture de cameline

Date	Stade BBCH (Blocs 1 à 4)
27 Avril	00
19 Mai	16
11 juin	32
18 Juin	62
25 Juin	65

5.1.2. Levées

Il y a une différence très hautement significative de pourcentages de levées du colza entre les blocs. Les blocs 3 et 4 sont caractérisés par des levées plus faibles. Les pourcentages de levées des blocs 1 à 4 sont respectivement de $91,9 \pm 24,9$; $74,6 \pm 12,9$; $43,9 \pm 24,9$ et $48,8 \pm 19,7$ (Figure 22).

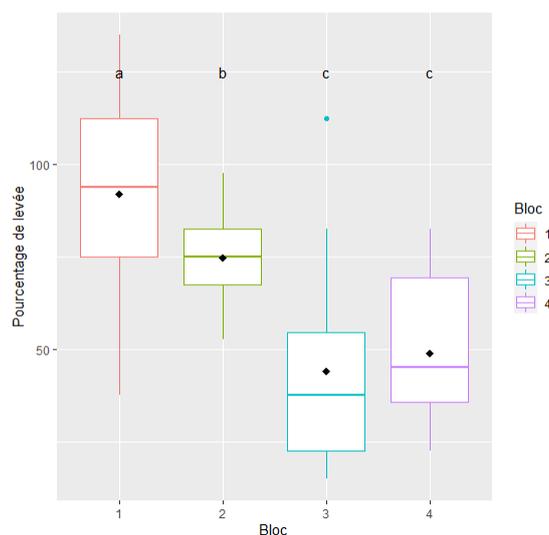


Figure 22: Pourcentages de levées en colza en fonction du bloc. Les modalités ayant des lettres identiques ont des moyennes statistiquement équivalentes au seuil de probabilité de 5% selon le test SNK.

Aucune différence significative n'a été mise en évidence entre les blocs et les pourcentages de levées dans les parcelles de betteraves. Du bloc 1 à 4, les pourcentages sont de l'ordre de $85,0 \pm 9,3$; $76,3 \pm 11,9$; $80,0 \pm 13,1$ et $80,0 \pm 7,6$ (Figure 23).

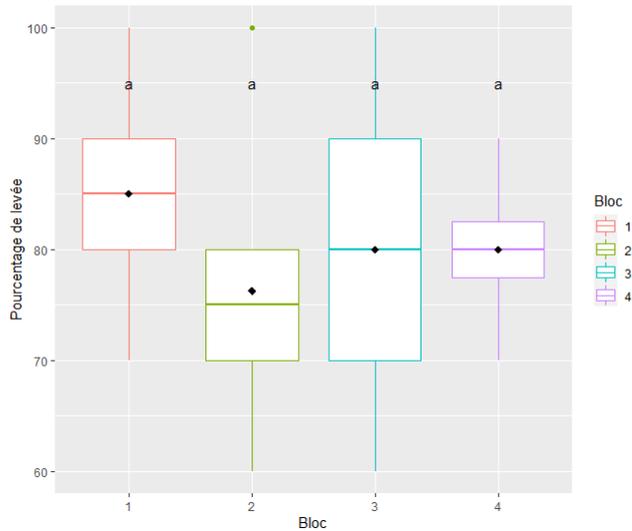


Figure 23: Pourcentages de levées en betterave en fonction du bloc. Les modalités ayant des lettres identiques ont des moyennes statistiquement équivalentes au seuil de probabilité de 5% selon le test SNK.

Les pourcentages de levées dans les parcelles de maïs sont différents de façon hautement significative en fonction du bloc. Le pourcentage moyen dans le bloc 2 étant le plus faible : de l'ordre de $56,7 \pm 11,6$ en comparaison de ceux des blocs 1, 3 et 4 ayant respectivement comme pourcentages moyens, $85,0 \pm 6,4$; $88,3 \pm 11,4$ et $86,7 \pm 10,9$ (Figure 24).

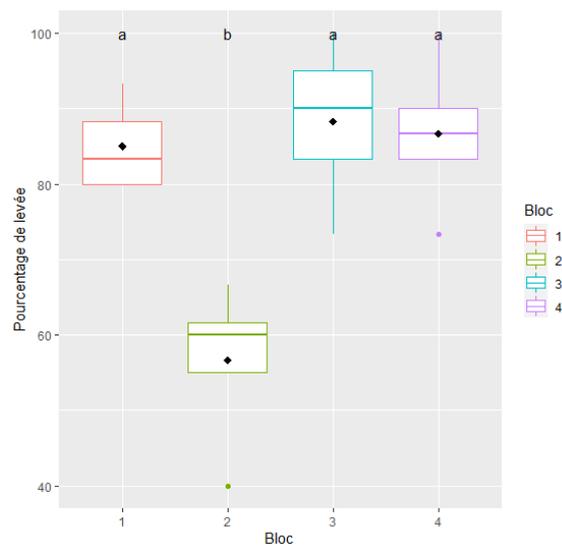


Figure 24: Pourcentages de levées en maïs en fonction du bloc. Les modalités ayant des lettres identiques ont des moyennes équivalentes au seuil de probabilité de 5% selon le test SNK.

Aucune différence significative n'a été mise en évidence entre les blocs et les pourcentages de levées dans les parcelles de cameline (p -valeur=0,0518). Les pourcentages de levées sont, respectivement du bloc 1 à 4, de $19,2 \pm 5,8$; $23,7 \pm 5,8$; $28,5 \pm 6,6$ et $28,5 \pm 3,8$ (Figure 25). Ces pourcentages de levées sont faibles car moins d'un tiers des graines semées ont levé.

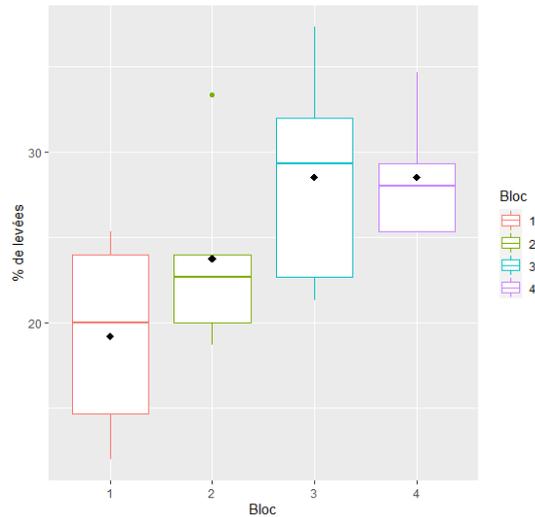


Figure 25: Pourcentages de levées de cameline en fonction du bloc.

5.2. Suivi du stock semencier

Le nombre total d'adventices par m² estimé via le suivi du stock semencier diffère de manière très hautement significative entre les blocs. La réalisation du test EMMEANS permet de classer les blocs en deux groupes distincts : les blocs 1 et 2 ayant des moyennes plus élevées en comparaison des blocs 3 et 4. Les moyennes sont de l'ordre de 1313,0±630,4; 1541,8±849,7; 652,9±456,3 et 508,6±359,3 adventices/m², respectivement du bloc 1 à 4 (Figure 26).

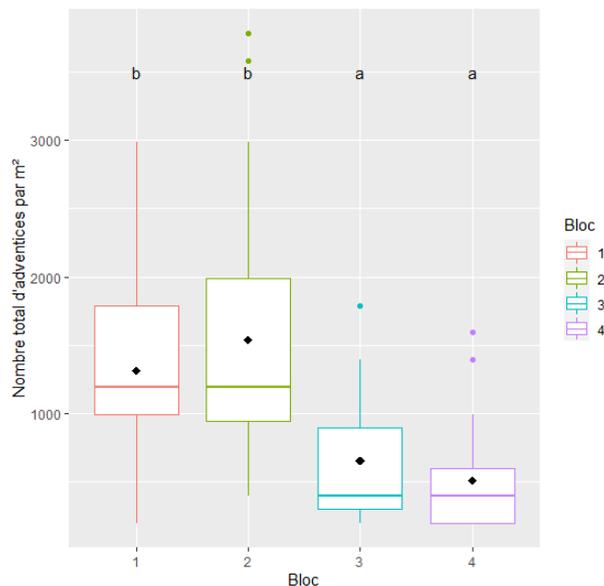


Figure 26: Nombre total d'adventices par m² estimé via l'étude du stock semencier en fonction du bloc. Les modalités ayant des lettres identiques ont des moyennes marginales estimées statistiquement équivalentes au seuil de probabilité de 5% selon le test EMMEANS.

La PCA réalisée sur le suivi du stock semencier permet de mettre en évidence des différences de flore adventice d'un bloc à l'autre (Figure 27). Tous les blocs présentent une grande population de coquelicots et de matricaires. Le bloc 1 est caractérisé par une forte abondance de chénopodes blancs, laiternons rudes et pensées. Le second bloc se différencie du premier par sa flore composée également de paturins annuels et de renouées des oiseaux tandis que le bloc 3 est caractérisé par une forte abondance de laiternons rudes.

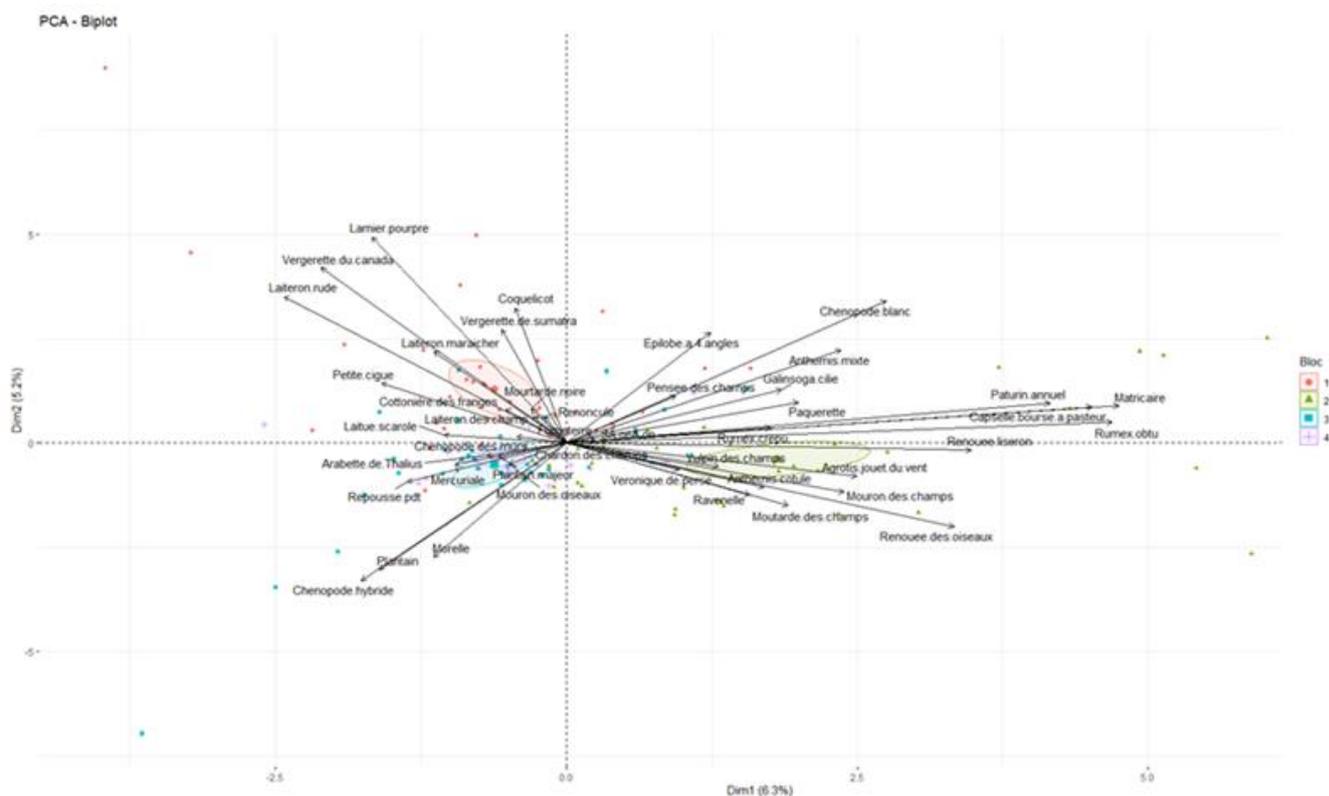


Figure 27: Représentation des différentes variables de la flore adventice selon les 2 axes de la PCA en fonction du bloc

5.3. Relevés de la flore adventice exprimée

5.3.1. Analyse générale des cultures

Il y a une différence très hautement significative entre la densité d'adventices et le type de culture. Les moyennes marginales estimées sont très significativement différentes pour le colza, le maïs et la cameline par rapport à la culture de betteraves (Figure 28). Respectivement pour chaque culture, les moyennes sont de $80,9 \pm 66,7$; $97,6 \pm 66,6$; $143,0 \pm 109,3$ et $31,6 \pm 40,5$ adventices par m^2 lors du premier comptage.

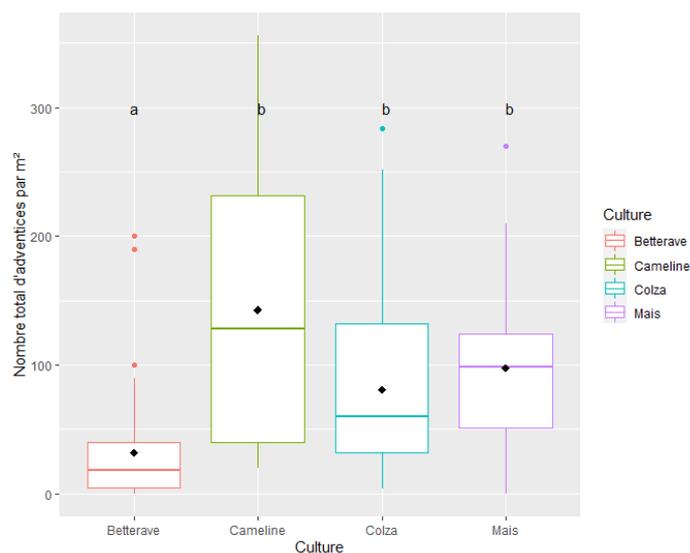


Figure 28: Densité d'adventices au m^2 en fonction de la culture sur l'entièreté de l'essai ECOFOODSYSTEM. Les modalités ayant des lettres identiques ont des moyennes marginales estimées statistiquement équivalentes au seuil de probabilité de 5% selon le test EMMEANS.

Une différence très hautement significative a été mise en évidence entre la densité d'adventices au m² et le facteur bloc. Du bloc 1 au bloc 4, les moyennes de la densité d'adventices au m² sont décroissantes et respectivement de : 132,0±76,9; 97,4±81,1; 40,5±35,8; 24,6±19,3 (Figure 29).

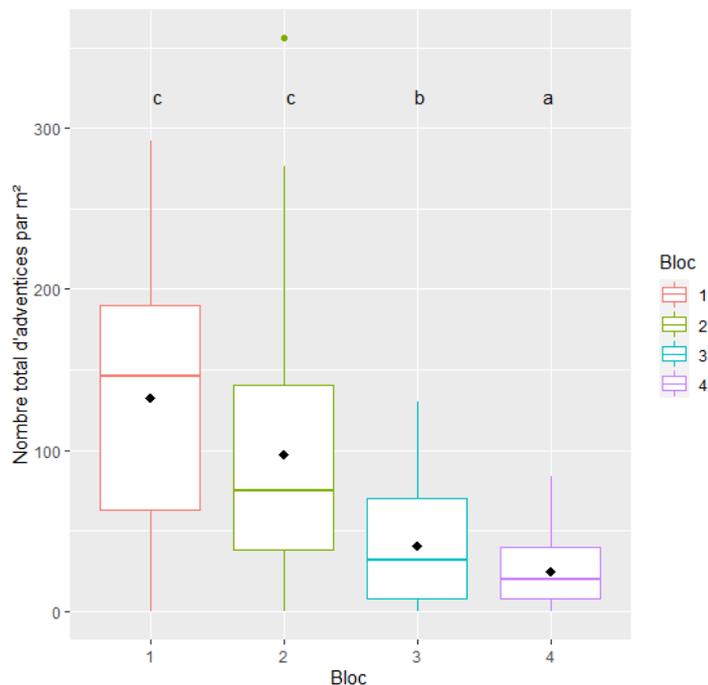


Figure 29: Nombre total d'adventices par m² selon le bloc sur l'entièreté de l'essai ECOFOODSYSTEM. Les modalités ayant des lettres identiques ont des moyennes marginales estimées statistiquement équivalentes au seuil de probabilité de 5% selon le test EMMEANS.

5.3.2. Culture de colza

Au second comptage, il y a une différence très hautement significative entre le facteur désherbage et le nombre total d'adventices par m². Les moyennes de la densité d'adventices au m² sont respectivement de 28,6±19,8 et 92,0±61,1 pour les parcelles de référence phyto et les autres.

Concernant le premier comptage, il y a une différence significative entre l'interaction du facteur désherbage et du facteur bloc et le nombre d'adventices par m² (p-valeur = 0,0294) (Tableau 9). La parcelle du bloc 1 gérée en zéro phyto est celle où la densité d'adventices est la plus élevée, suivie par la parcelle du bloc 2 gérée en zéro phyto (Figure 30). Les parcelles des blocs 3 et 4 traitées avec un herbicide présentent la plus faible densité d'adventices.

Tableau 9: Moyennes de la densité d'adventices par m² en fonction du bloc et du type de désherbage.

Désherbage\Bloc	Bloc 1	Bloc 2	Bloc 3	Bloc 4
Phyto	58,4±26,5	53,6±15,6	10,4±6,1	14,4±12,8
Zéro phyto	175,2±49,6	109,9±63,6	63,5±24,6	32,5±22,4

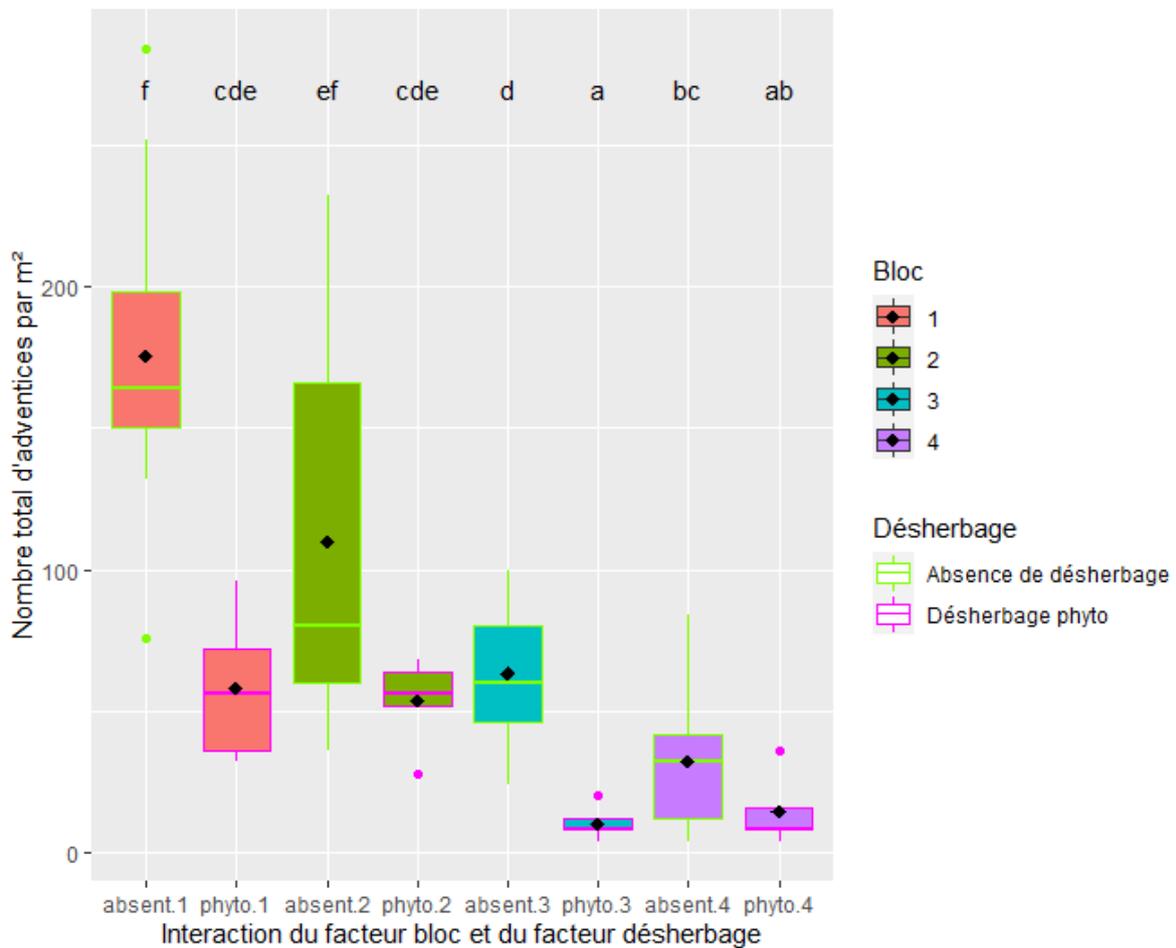


Figure 30: Nombre total d'adventices par m² en fonction de l'interaction du bloc et du désherbage. Les modalités ayant des lettres identiques ont des moyennes marginales estimées statistiquement équivalentes au seuil de probabilité de 5% selon le test EMMEANS.

L'ensemble de l'essai expérimental est caractérisé par une forte présence de coquelicots et matricaires. D'une part, la flore adventice entre le bloc 1 et le bloc 2 se ressemble par la forte abondance de graminées et pensées des champs (Figure 31). D'autre part, elle se différencie par une forte présence de laitrons rudes et mourons des champs dans le bloc 1 et de renouées des oiseaux, rumex et véroniques à feuilles de lierre dans le bloc 2. Le bloc 3 est caractéristique par sa forte densité de laitrons rudes tandis que le bloc 4 présente une importante population de pensées des champs et renouées des oiseaux.

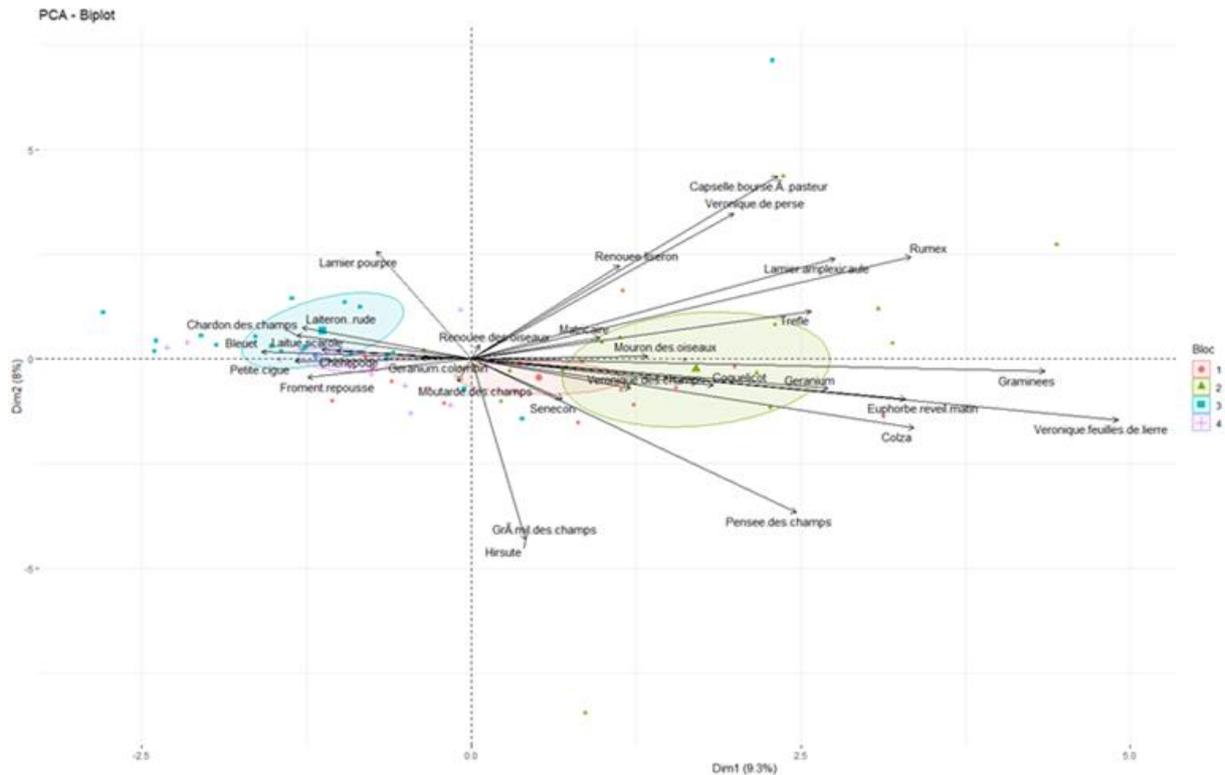


Figure 31: Représentation des différentes variables selon les 2 axes de la PCA réalisée sur la flore adventice lors du prélèvement

L'analyse des résultats de la biomasse sèche des plants de colza a permis de mettre en évidence une différence très hautement significative en fonction du facteur bloc. Les biomasses aériennes sèches de colza sont plus élevées dans les blocs 1 et 2 en comparaison des blocs 3 et 4. Respectivement des blocs 1 à 4, les valeurs en gramme par m² sont de 747,6±229,8; 837,1±261,3; 559,8±211,7 et 511,6±142,5 (Figure 32). Il y a également une différence très hautement significative entre la biomasse fraîche de colza et le facteur bloc ; les blocs 1 et 2 se distinguant des blocs 3 et 4. Aucune différence significative n'a été mise en évidence entre la biomasse sèche des plants de colza et le type de désherbage. Néanmoins, une différence significative entre la biomasse fraîche du colza et le facteur désherbage a été démontrée. Les parcelles ayant été traitées avec un herbicide présentent une moyenne supérieure aux autres parcelles. La biomasse fraîche est de 4619,2±1956,4 g/m² en parcelle phyto et de 3886,5±1452,1 g/m² dans les parcelles gérées en zéro phyto (Figure 33).

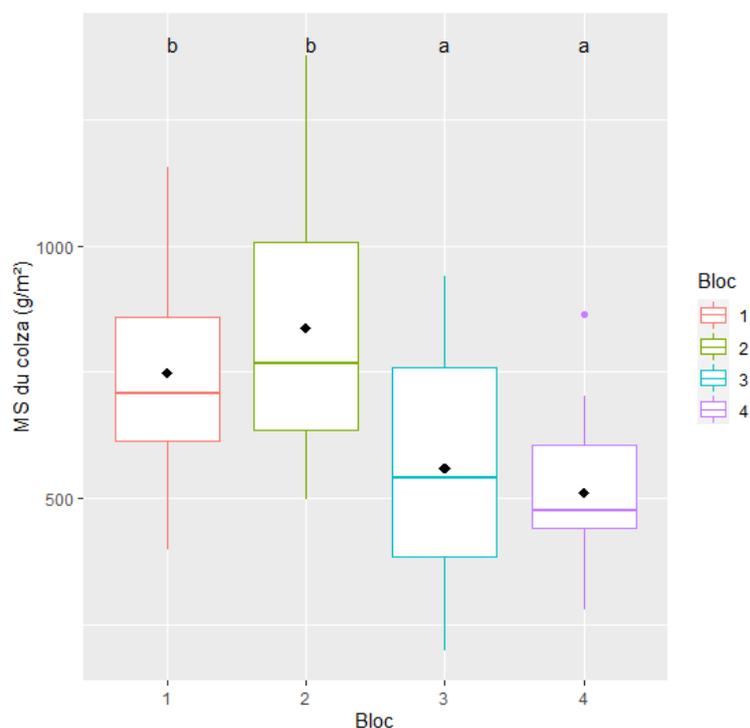


Figure 32: Biomasse aérienne sèche du colza en fonction du bloc. Les modalités ayant des lettres identiques ont des moyennes statistiquement équivalentes au seuil de probabilité de 5% selon le test SNK.

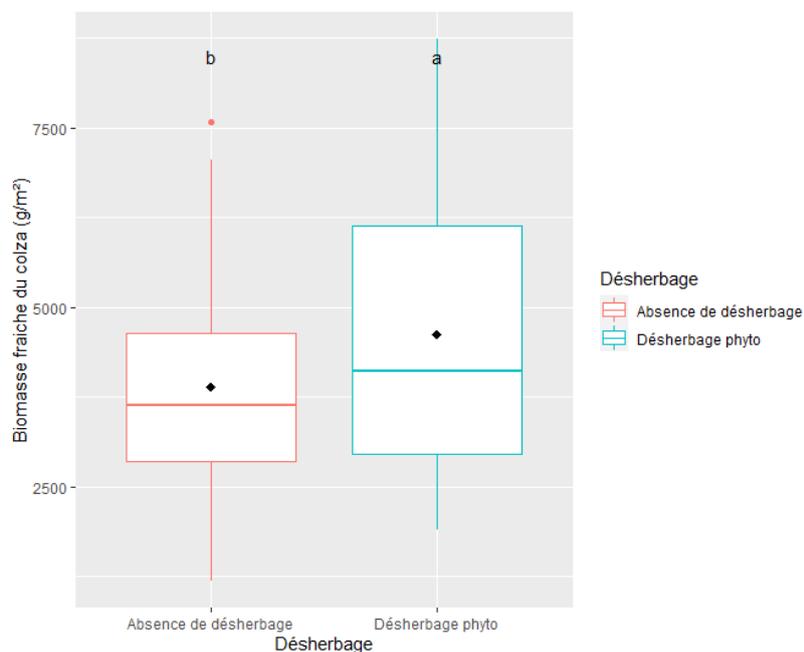


Figure 33: Biomasse fraîche du colza en fonction du désherbage. Les modalités ayant des lettres identiques ont des moyennes statistiquement équivalentes au seuil de probabilité de 5% selon le test SNK.

Concernant l'analyse de la biomasse aérienne des adventices, il en ressort que la moyenne est différente de façon très hautement significative entre les parcelles gérées avec un herbicide et celles où aucun désherbage n'a été réalisé. Les moyennes sont pour ces parcelles respectivement de $45,9 \pm 59,9$ et $161,7 \pm 149,5$ g/m² de matière sèche (Figure 34).

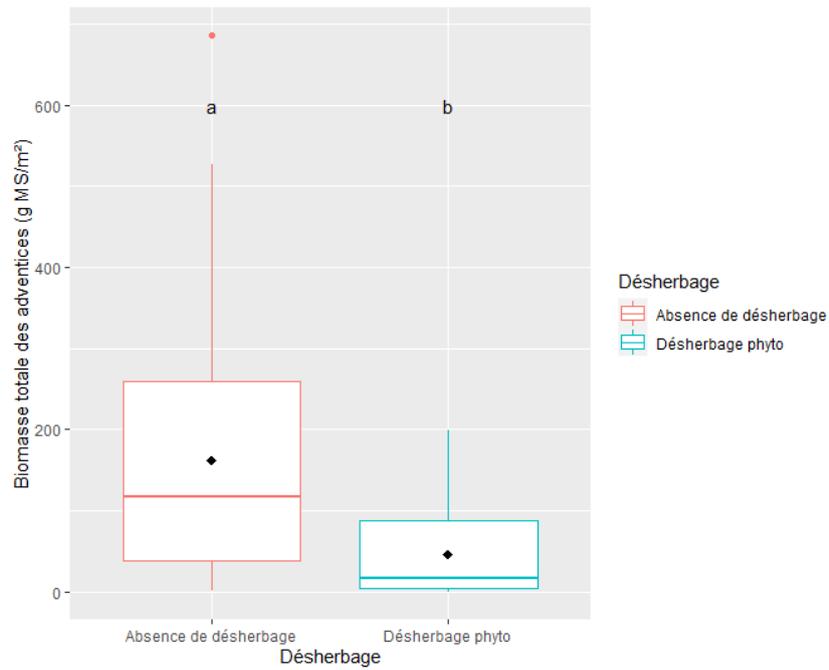


Figure 34: Biomasse totale des adventices (g MS/m²) en fonction du type de désherbage. Les modalités ayant des lettres identiques ont des moyennes statistiquement équivalentes au seuil de probabilité de 5% selon le test SNK.

La biomasse aérienne en MS d'adventices est très hautement significativement différente en fonction du facteur bloc. Les moyennes de la biomasse sont pour les blocs de 1 à 4, respectivement de 98,3±95,1; 26,2±23,6; 254,5±169,1 et 152,1±127,3 g MS/m² (Figure 35). Le classement statistique au niveau de la matière fraîche est identique à celui réalisé sur la matière sèche. Cependant, les moyennes sont différentes de façon hautement significative selon les blocs pour la biomasse fraîche.

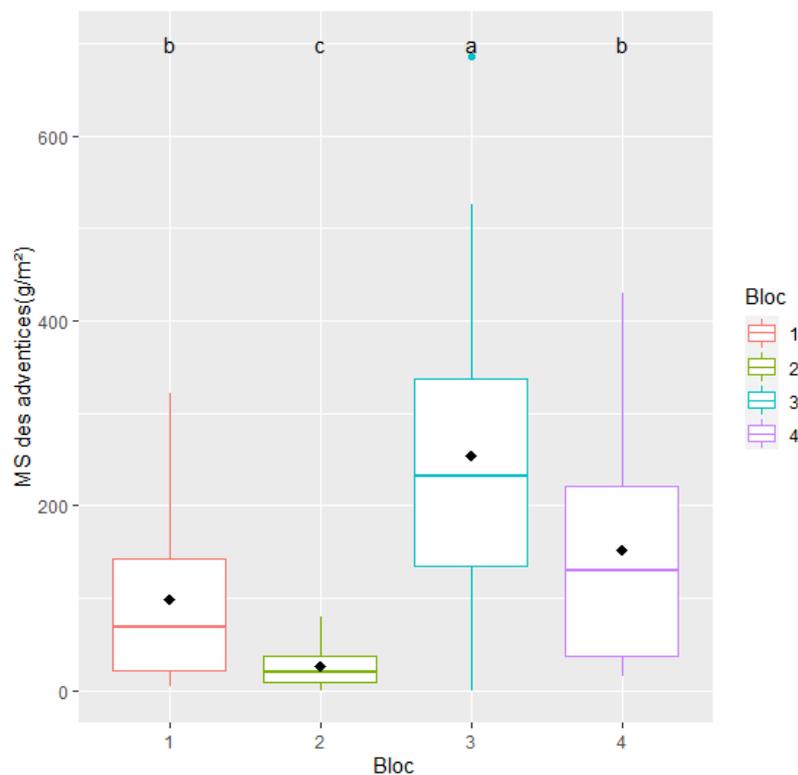


Figure 35: Biomasse totale des adventices (g MS/m²) en fonction du bloc. Les modalités ayant des lettres identiques ont des moyennes statistiquement équivalentes au seuil de probabilité de 5% selon le test SNK.

Les pourcentages de la biomasse des adventices par rapport à la biomasse totale sont différents de manière très hautement significative à la fois pour le facteur désherbage et le facteur bloc (Tableau 10). Concernant la biomasse sèche, les moyennes des pourcentages sont de $7,1 \pm 10,7$ et $20,4 \pm 17,7$ pour les parcelles dites de référence phyto et les parcelles gérées en zéro phyto. Les pourcentages diffèrent au niveau de la biomasse fraîche et sont respectivement de $9,1 \pm 11,8$ et $25,5 \pm 20,4$. Du point de vue du facteur bloc, les pourcentages sont les plus élevés dans le bloc 3 et les plus faibles dans le bloc 2 (Figure 36).

Tableau 10: Pourcentages de la biomasse des adventices par rapport à la biomasse totale du colza et des adventices selon le poids sec et le poids frais.

	Bloc 1	Bloc 2	Bloc 3	Bloc 4
Biomasse sèche	$12,7 \pm 13,1$	$3,6 \pm 3,5$	$30,4 \pm 18,3$	$21,9 \pm 16,7$
Biomasse fraîche	$19,3 \pm 17,9$	$4,9 \pm 4,3$	$36,5 \pm 19,2$	$24,9 \pm 19,7$

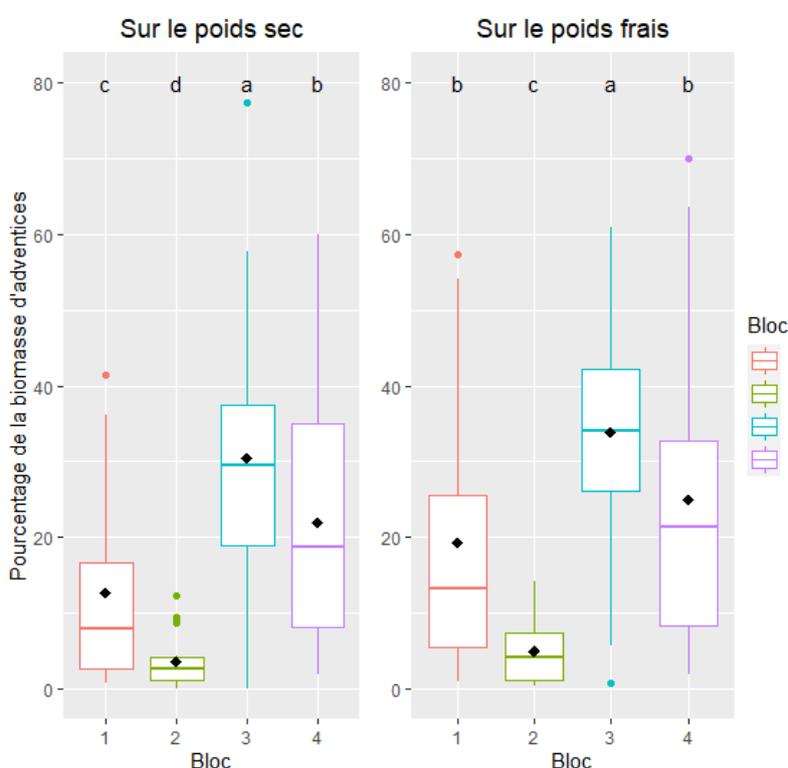


Figure 36: Pourcentage de biomasse d'adventices par rapport à la biomasse totale réalisée sur le poids sec et le poids frais. Les modalités ayant des lettres identiques ont des moyennes statistiquement équivalentes au seuil de probabilité de 5% selon le test SNK.

Le coefficient de corrélation entre la biomasse du colza et la biomasse totale des adventices en matière fraîche est de -0,514. En considérant chaque bloc séparément, les coefficients de corrélation sont, respectivement du bloc 1 à 4, de -0,603; -0,540; -0,234 et -0,470 (Figure 37).

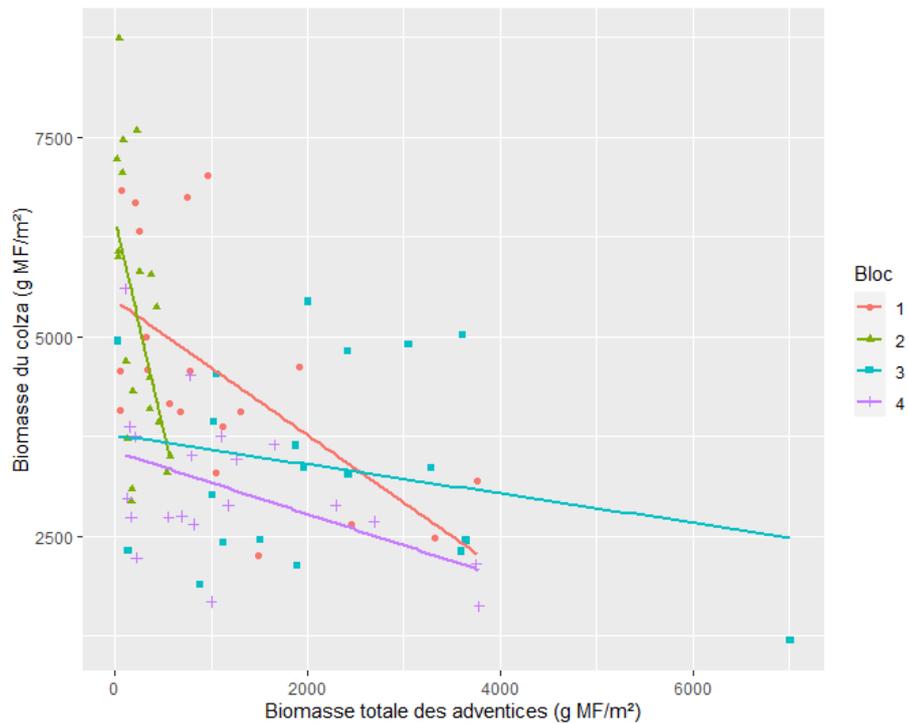


Figure 37: Régression linéaire de la biomasse du colza (g MF/m²) en fonction de la biomasse totale des adventices (g MF/m²)

5.3.3. Culture de betterave

Au second comptage, il y a une différence très hautement significative entre la densité d'adventices et le type de désherbage. Les EMM des densités d'adventices au m² sont respectivement de $20,4 \pm 20,1$ et $155,1 \pm 143,0$ pour les parcelles dites phyto et celles zéro-phyto (Figure 38).

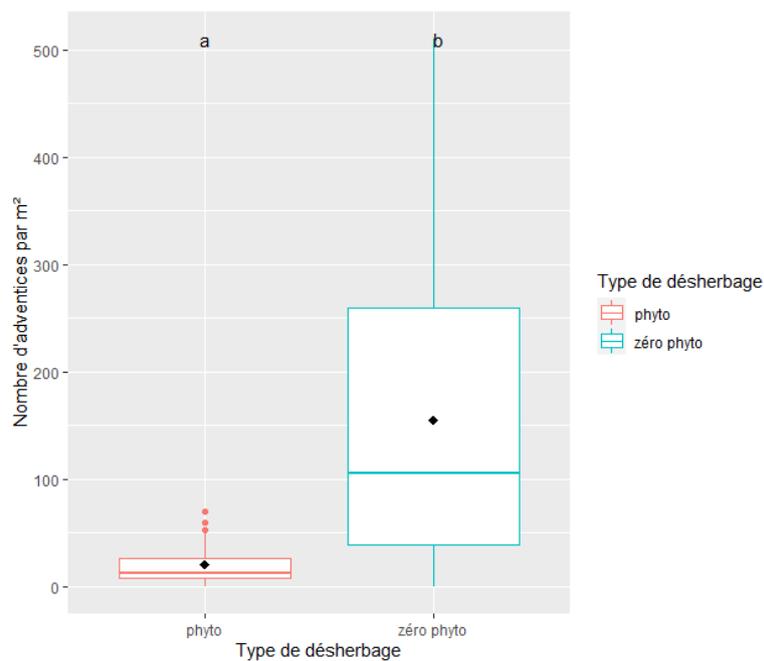


Figure 38: Nombre total d'adventices par m² en fonction du type de désherbage après l'application de l'herbicide. Les modalités ayant des lettres identiques ont des moyennes marginales estimées statistiquement équivalentes au seuil de probabilité de 5% selon le test EMMEANS ;

Concernant l'analyse du nombre d'adventices au m² au troisième comptage, il y a une différence très hautement significative entre la densité d'adventices et l'interaction entre le bloc, le désherbage et le rang/inter-rang (Tableau 11). Les densités d'adventices sont plus élevées dans les parcelles gérées en zéro-phyto aussi bien au niveau du rang que l'inter-rang (Figure 39, Figure 40).

Tableau 11: Moyennes des densités d'adventices en fonction de l'interaction entre le bloc, le désherbage et le rang/inter-rang.

	Bloc 1		Bloc 2		Bloc 3		Bloc 4	
	Inter-rang	Rang	Inter-rang	Rang	Inter-rang	Rang	Inter-rang	Rang
Parcelles phyto	0,0±0,0	5,0±5,8	0,0±0,0	20,0±11,5	0,0±0,0	0,0±0,0	3,0±0,0	0,0±0,0
Parcelles zéro phyto	4,8±3,9	210,0±26,5	7,0±3,6	152,5±78,0	0,8±1,5	57,5±50,6	2,5±2,9	27,5±48,6

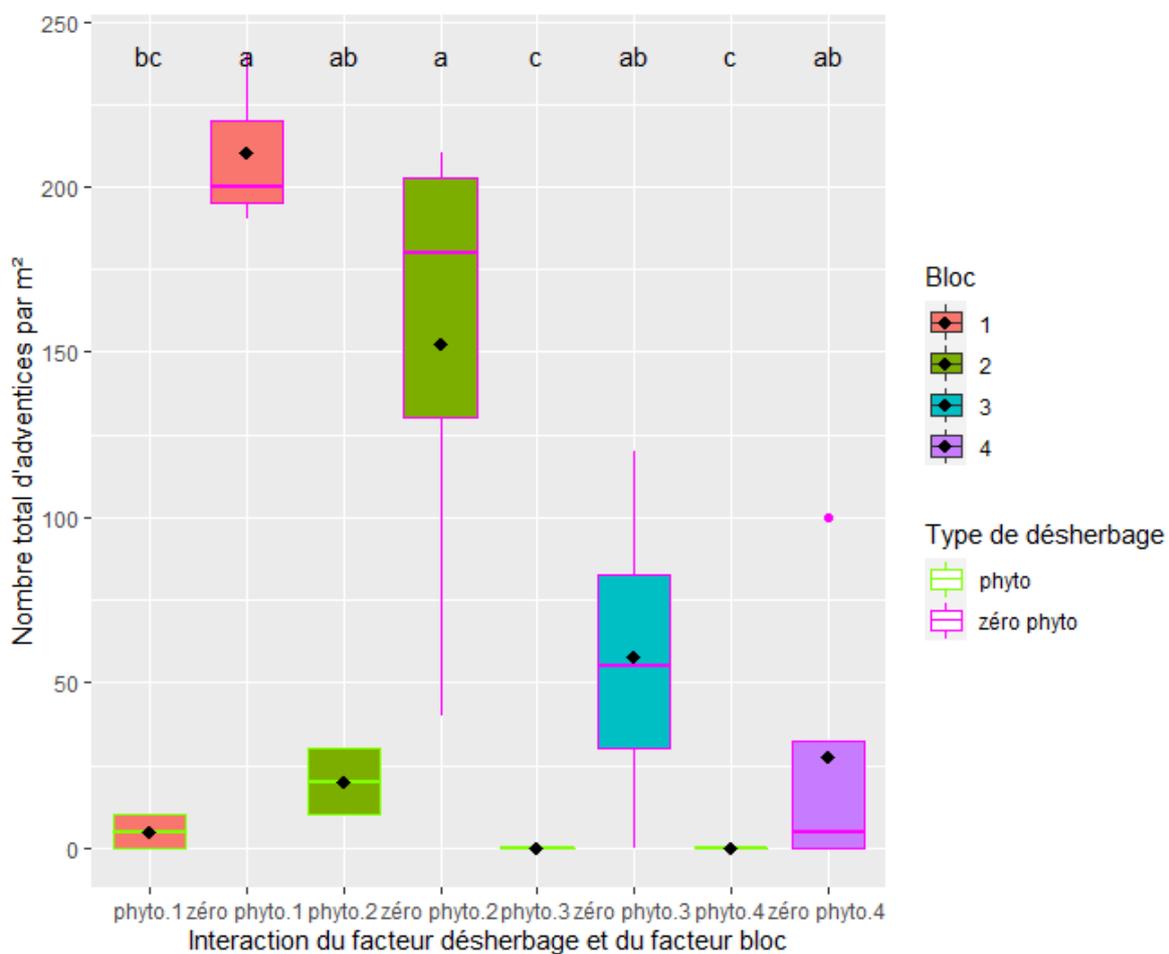


Figure 39: Nombre total d'adventices en fonction de l'interaction du bloc et du type de désherbage au niveau du rang. Les modalités ayant des lettres identiques ont des moyennes statistiquement équivalentes au seuil de probabilité de 5% selon le test SNK.

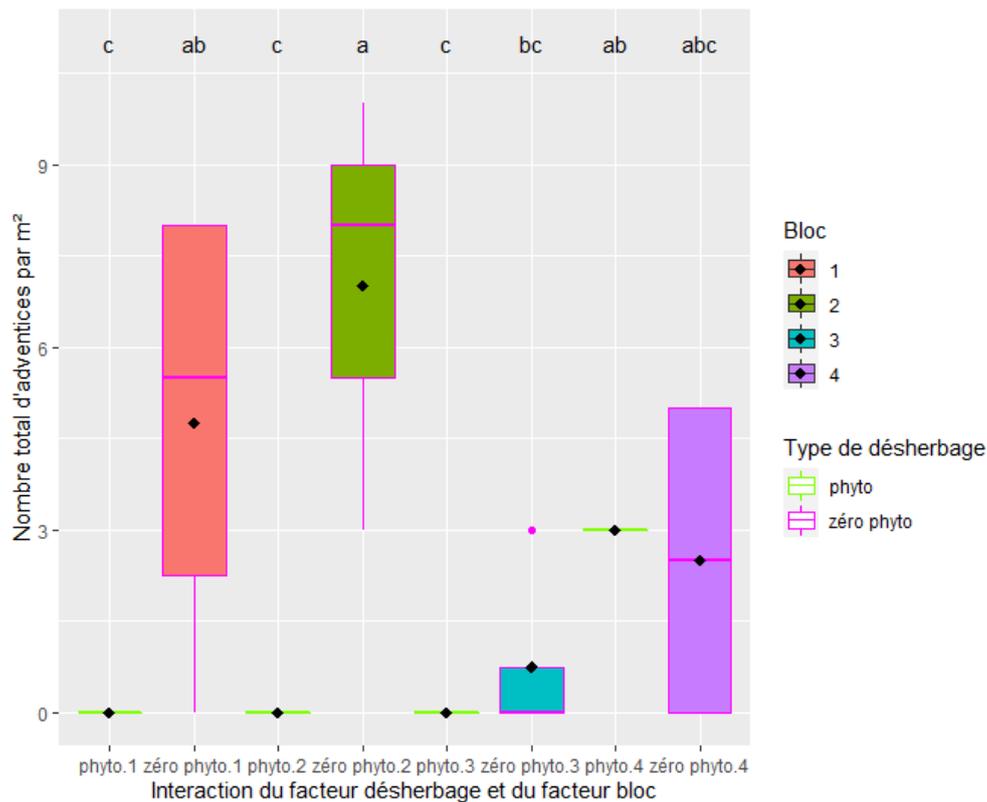


Figure 40: Nombre total d'adventives par m² en fonction de l'interaction du désherbage et du bloc au niveau de l'inter-rang. Les modalités ayant des lettres identiques ont des moyennes statistiquement équivalentes au seuil de probabilité de 5% selon le test SNK.

En ce qui concerne les premiers et seconds comptages, une différence très hautement significative a été mise en évidence entre le pourcentage de réduction du nombre total d'adventives et le type de désherbage. Concernant la réduction du nombre d'adventives entre le deuxième et le troisième comptage, il y a une différence très hautement significative entre les pourcentages de réduction et le facteur désherbage ainsi qu'entre les pourcentages de réduction et le rang/inter-rang. Concernant le pourcentage de réduction entre le premier et dernier comptage, il y a une différence significative entre celui-ci et l'interaction entre le type de désherbage et le rang /inter-rang. En parcelles phyto, les pourcentages sont de $79,3 \pm 39,7$ au niveau de l'inter-rang et de $64,8 \pm 46,0$ au niveau du rang. Pour les parcelles gérées en zéro phyto, les pourcentages sont, respectivement pour l'inter-rang et le rang, de $43,6 \pm 86,1$ et $-110,2 \pm 120,2$, soit une augmentation de la densité d'adventives (Figure 41).

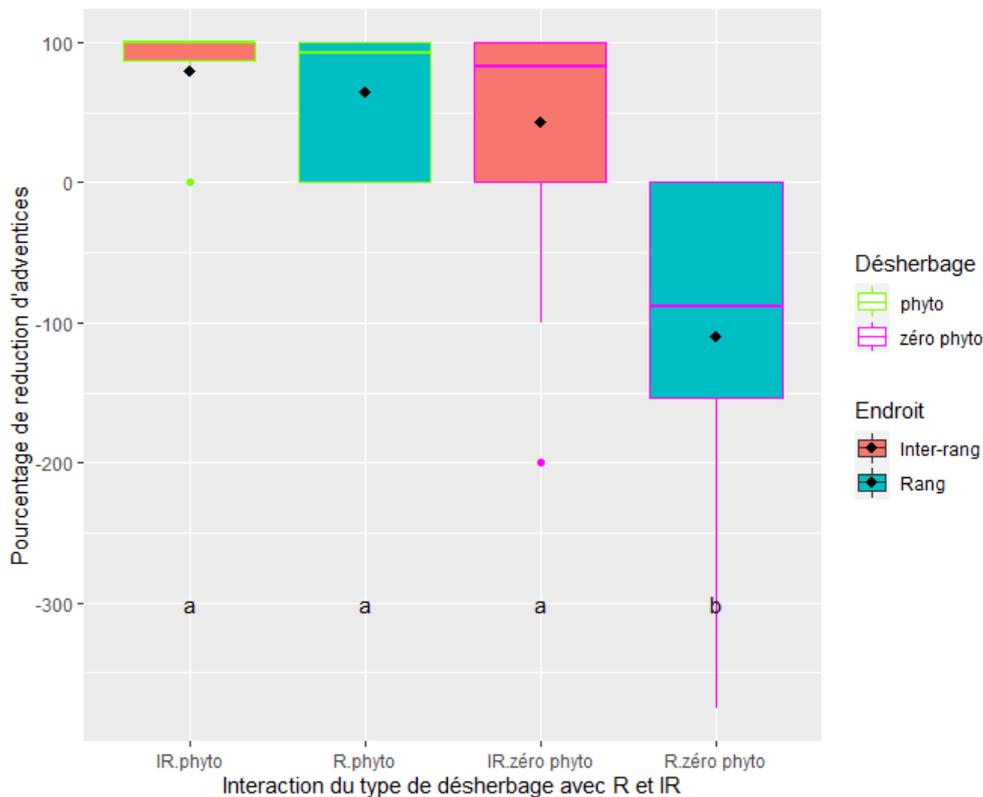


Figure 41: Pourcentage de réduction d'adventices en fonction du type de désherbage et du rang/inter-rang. IR : Inter-rang. R : Rang. Les modalités ayant des lettres identiques ont des moyennes marginales estimées statistiquement équivalentes au seuil de probabilité de 5% selon le test EMMEANS.

La PCA réalisée sur la diversité de la flore adventice dans les parcelles de betteraves permet de mettre en évidence l'abondance de chénopodes blancs et laitrons rudes au niveau du bloc 1 (Figure 42). Le bloc 2 est caractérisé par une forte densité de renouées des oiseaux tandis que le bloc 3 présente une forte présence de laitrons rudes.

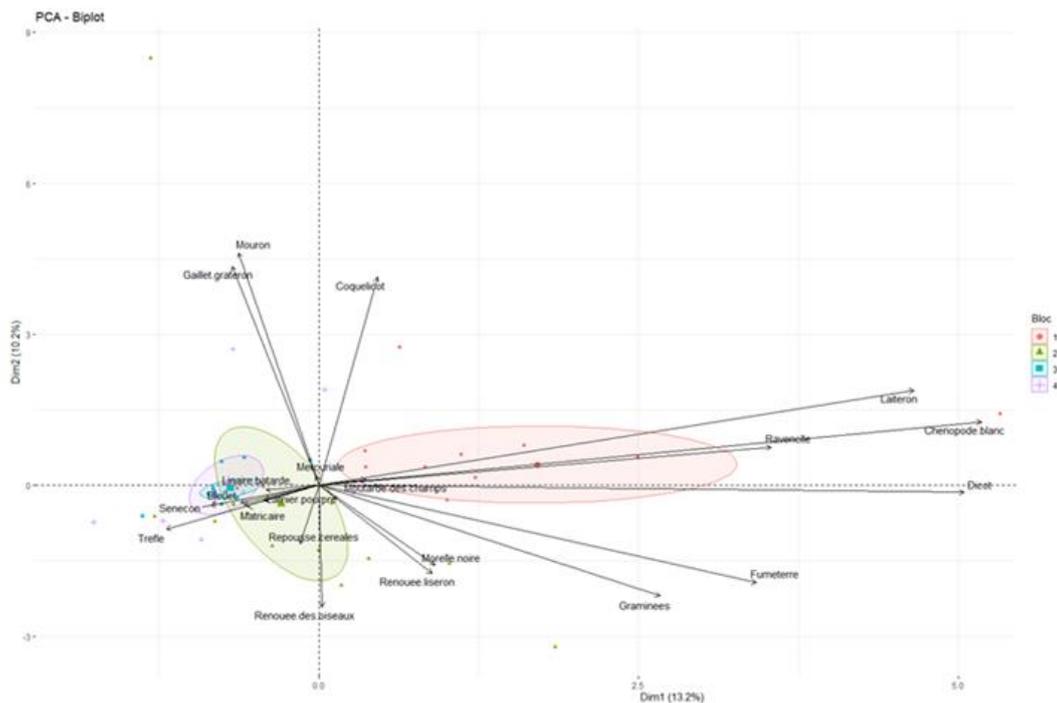


Figure 42: Analyse en composantes principales réalisée sur les différentes variables de la flore adventice en fonction du bloc

En ce qui concerne la biomasse fraîche et la biomasse sèche des betteraves, il y a une différence très hautement significative entre les biomasses et le type de désherbage. Respectivement pour le désherbage phyto et le désherbage « zéro phyto », les biomasses fraîches sont de l'ordre de $4118,9 \pm 1272,2$ et $2592,4 \pm 1014,5$ g/m² et les biomasses sèches sont de $401,8 \pm 111,6$ g/m² et $266,2 \pm 85,4$ g/m² (Figure 43).

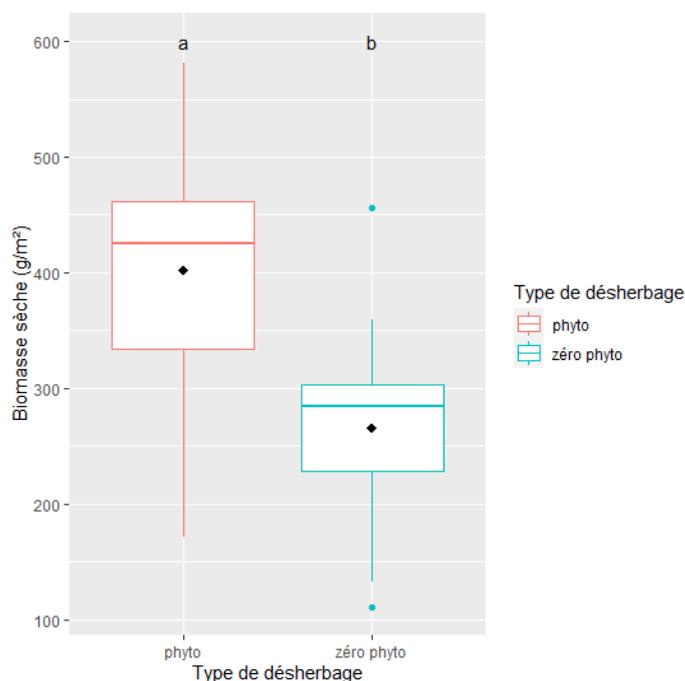


Figure 43: Biomasse sèche des betteraves (g/m²) en fonction du type de désherbage. Les modalités ayant des lettres identiques ont des moyennes statistiquement équivalentes au seuil de probabilité de 5% selon le test SNK.

Une corrélation négative a pu être mise en évidence entre la biomasse sèche des betteraves et le nombre total d'adventices au m². Le coefficient de corrélation est de l'ordre de -0,584 (Figure 44).

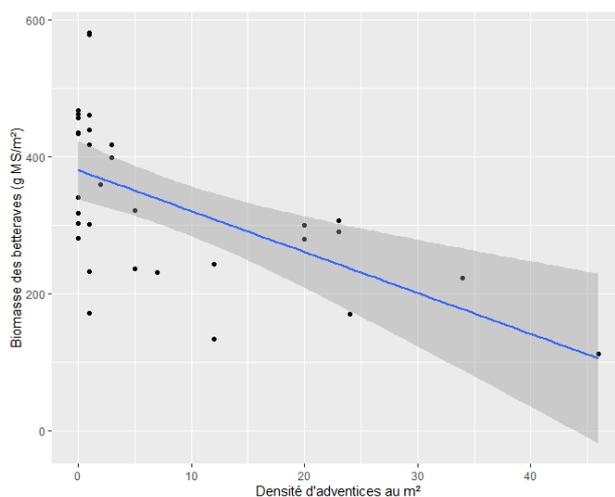


Figure 44: Régression linéaire de la biomasse des betteraves (g MS/m²) en fonction de la densité d'adventices au m²

5.3.4. Culture de maïs

Concernant l'analyse du passage de la houe rotative, il y a une différence très hautement significative entre la densité d'adventices et l'interaction entre le facteur bloc et le facteur comptage (Figure 45). Pour chacun des blocs, le nombre total d'adventices est significativement plus petit au deuxième comptage (T1), soit après le passage de la houe rotative (Tableau 12).

Tableau 12: Moyennes des densités d'adventices en fonction du bloc et du facteur comptage. T0 : Comptage avant le passage de la houe rotative. T1 : Comptage après le passage de la houe rotative.

Comptage\Bloc	Bloc 1	Bloc 2	Bloc 3	Bloc 4
1 ^{er} comptage (T0)	171,0±56,8	117,5±41,5	68,1±45,7	33,6±17,6
2 ^{ème} comptage (T1)	106,8±54,9	71,1±42,2	57,4±47,0	18,9±15,8

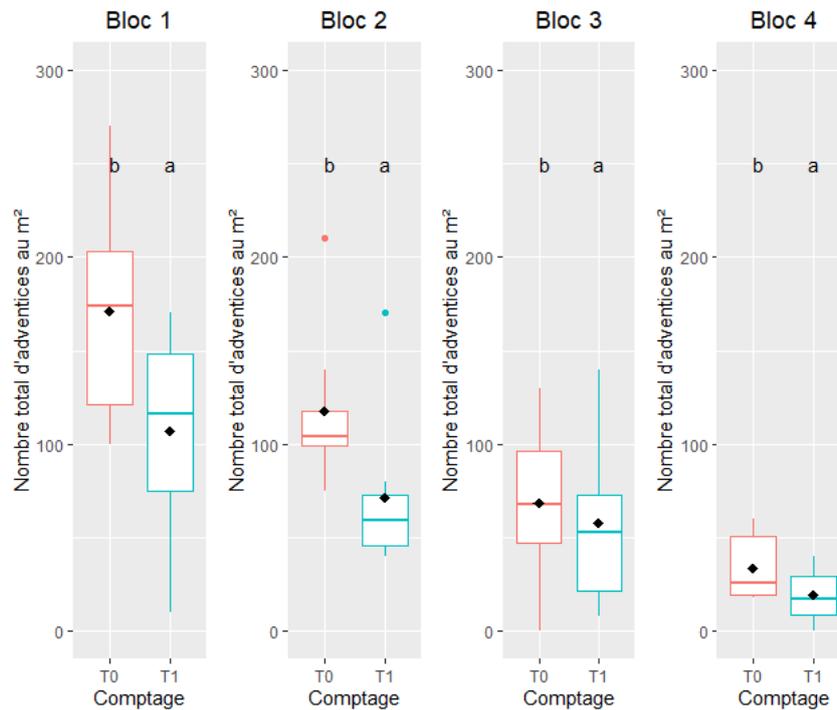


Figure 45: Nombre d'adventices au m² en fonction du comptage pour chaque bloc séparément. T0: Comptage avant le passage de la houe rotative. T1: Comptage après le passage de la houe rotative. Pour chaque bloc séparément, les modalités ayant des lettres identiques ont des moyennes marginales estimées statistiquement équivalentes au seuil de probabilité de 5% selon le test EMMEANS.

En ce qui concerne l'analyse des passages de la bineuse seule, il y a une différence très hautement significative entre la densité d'adventices et l'interaction entre le facteur bloc, le facteur comptage et le rang/inter-rang (Tableau 13). Au niveau de l'inter-rang, les densités d'adventices sont plus faibles après les passages de la bineuse (Figure 47). En ce qui concerne le rang, les densités d'adventices sont identiques aux deux comptages pour les blocs 2 et 3 tandis que le nombre total d'adventices a augmenté dans les blocs 1 et 4 (Figure 46).

Tableau 13: Moyennes de la densité d'adventices en fonction de l'interaction entre le bloc, le comptage et le rang/inter-rang. T1 : Comptage après le passage de la houe rotative. T2 : Comptage après les passages de la bineuse

Comptage\Bloc	Bloc 1	Bloc 2	Bloc 3	Bloc 4
T1 :Rang	105,0±71,9	85,0±58,0	80,0±57,2	25,0±19,2
T2 :Rang	142,5±60,8	95,0±52,0	82,5±38,6	37,5±15,0
T1 :Inter-rang	108,5±43,1	57,3±16,3	34,8±22,9	12,8±10,7
T2 : Inter-rang	19,8±13,5	42,5±17,6	8,3±5,9	7,5±3,3

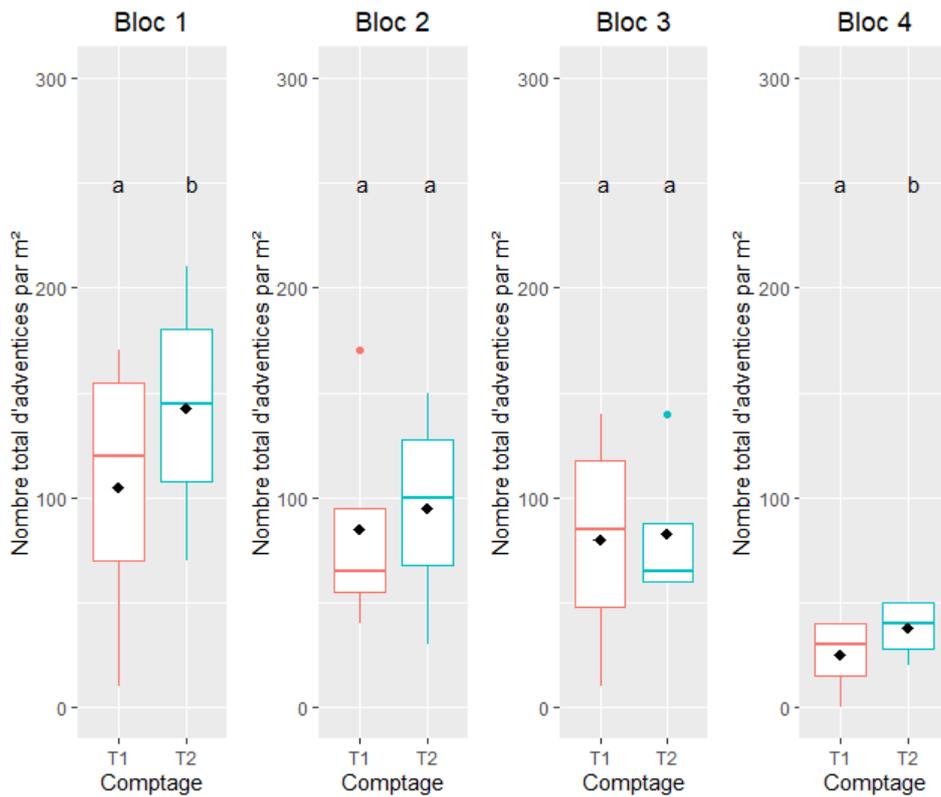


Figure 46: Nombre d'adventices au m² en fonction du comptage au niveau du rang pour chaque bloc. T1 : Comptage après le passage de la houe rotative. T2 : Comptage après les passages de la bineuse. Pour chaque bloc séparément, les modalités ayant des lettres identiques ont des moyennes marginales estimées statistiquement équivalentes au seuil de probabilité de 5% selon le test EMMEANS.

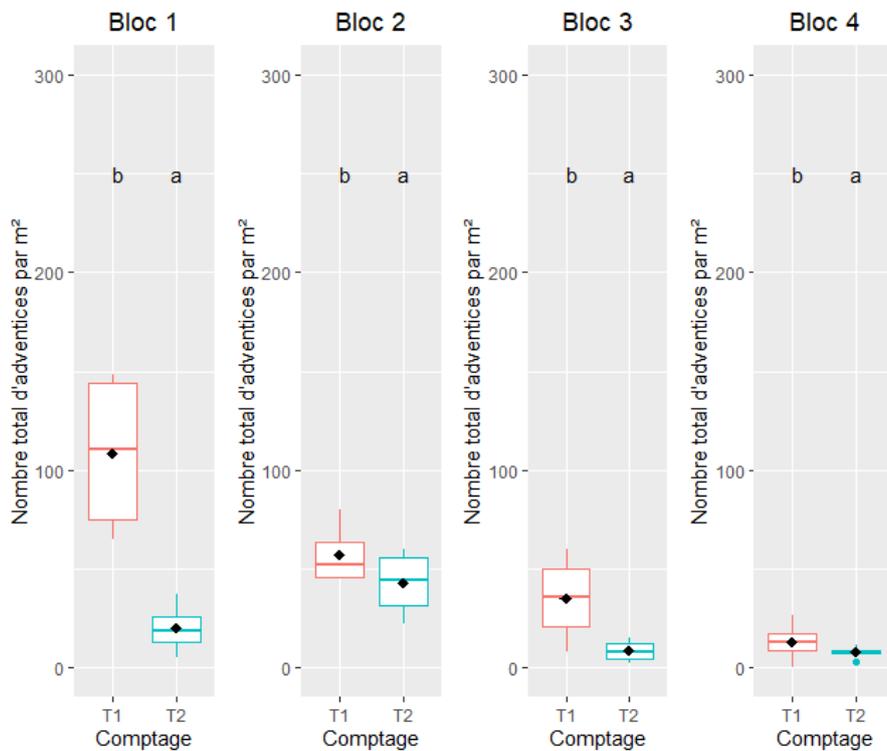


Figure 47: Nombre d'adventices au m² en fonction du comptage au niveau de l'inter-rang pour chaque bloc. T1 : Comptage après le passage de la houe rotative. T2 : Comptage après les passages de la bineuse. Pour chaque bloc séparément, les modalités ayant des lettres identiques ont des moyennes marginales estimées statistiquement équivalentes au seuil de probabilité de 5% selon le test EMMEANS.

Entre le premier et troisième comptage, il y a une différence très hautement significative entre la densité d'adventices et l'interaction du facteur bloc, du facteur comptage et du rang/inter-rang (Tableau 14). Au niveau du rang, les densités d'adventices sont diminuées significativement dans les blocs 1 et 2 (Figure 48) tandis que le nombre d'adventices au m² est plus faible pour chacun des blocs au niveau de l'inter-rang au T2, soit au comptage après le passage combiné de la houe rotative et de la bineuse (Figure 49). Après le passage combiné de la houe rotative et de la bineuse, les densités d'adventices sont plus faibles au niveau de l'inter-rang (Figure 50).

Tableau 14: Moyennes de la densité d'adventices en fonction de l'interaction du facteur bloc, du facteur comptage et du rang/inter-rang. T0 : Comptage avant le passage de la houe rotative. T2 : Comptage après le passage de la bineuse

Comptage\Bloc	Bloc 1	Bloc 2	Bloc 3	Bloc 4
T0 :Rang	170,0±77,0	140,0±49,7	80,0±59,4	37,5±20,6
T2 :Rang	142,5±60,8	95,0±52,0	82,5±38,6	37,5±15,0
T0 :Inter-rang	172,0±39,8	95,0±14,1	56,3±30,9	29,6±16,1
T2 : Inter-rang	19,8±13,5	42,5±17,6	8,3±5,9	7,5±3,3

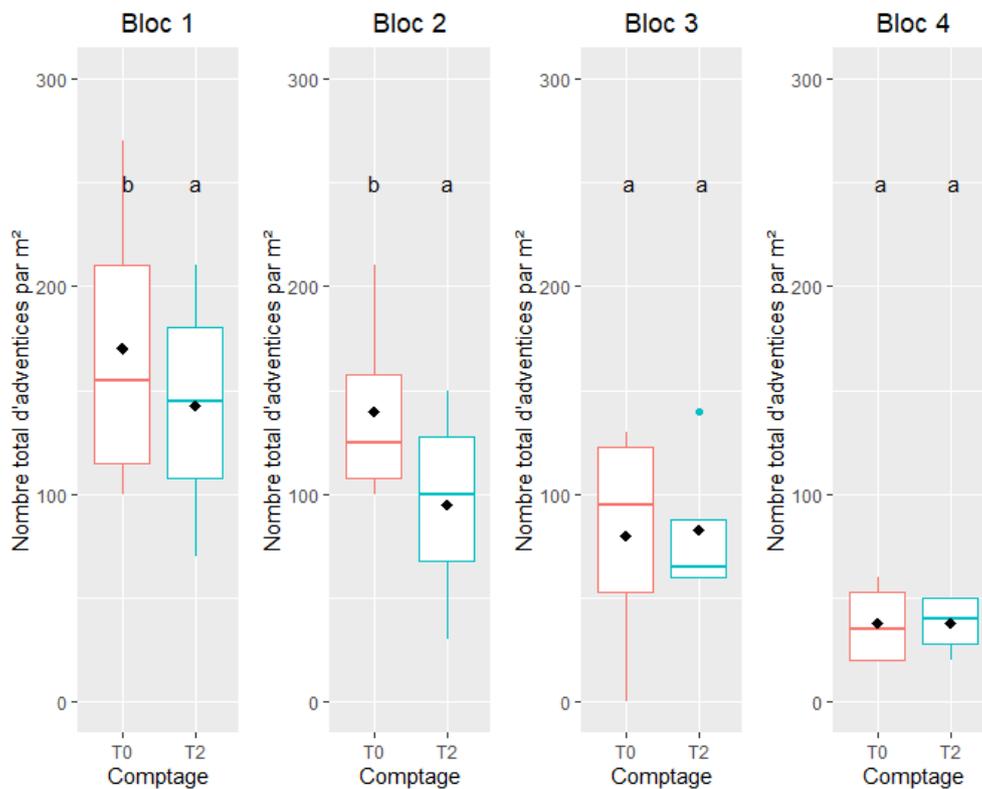


Figure 48: Nombre d'adventices au m² en fonction du comptage au niveau du rang pour chaque bloc. T0 : Comptage avant le passage de la houe rotative. T2 : Comptage après les passages de la bineuse. Pour chaque bloc séparément, les modalités ayant des lettres identiques ont des moyennes marginales estimées statistiquement équivalentes au seuil de probabilité de 5% selon le test EMMEANS.

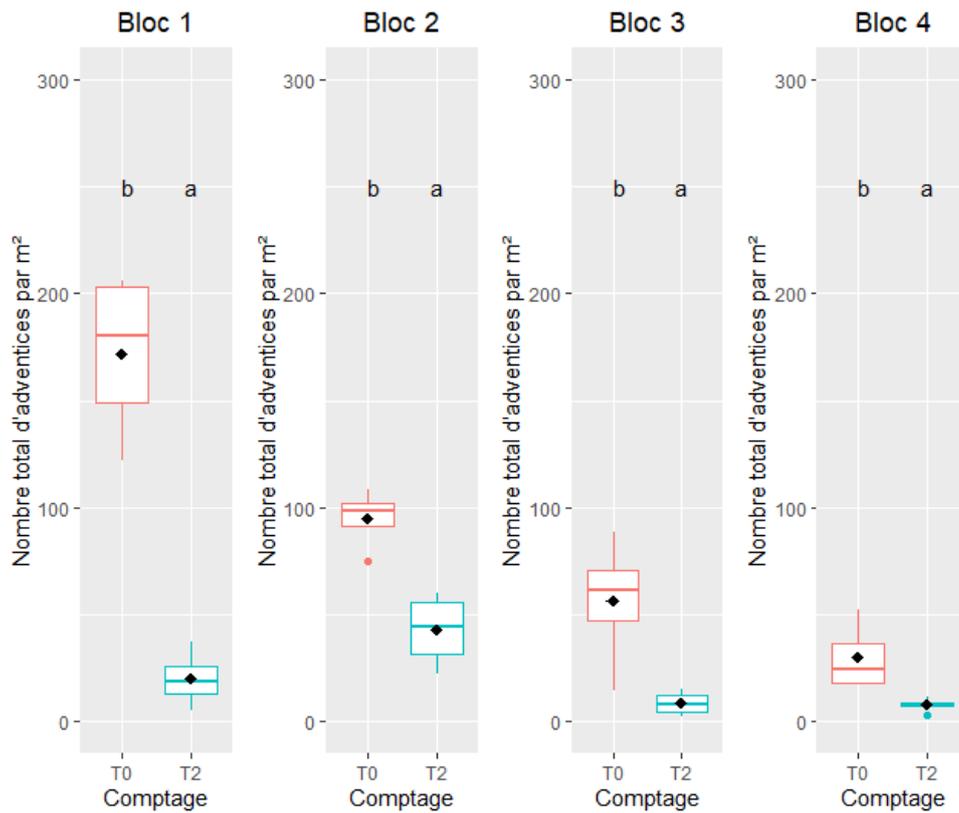


Figure 49: Nombre d'adventices au m² en fonction du comptage au niveau de l'inter-rang pour chaque bloc. T0 : Comptage avant le passage de la houe rotative. T2 : Comptage après les passages de la bineuse. Pour chaque bloc séparément, les modalités ayant des lettres identiques ont des moyennes marginales estimées statistiquement équivalentes au seuil de probabilité de 5% selon le test EMMEANS.

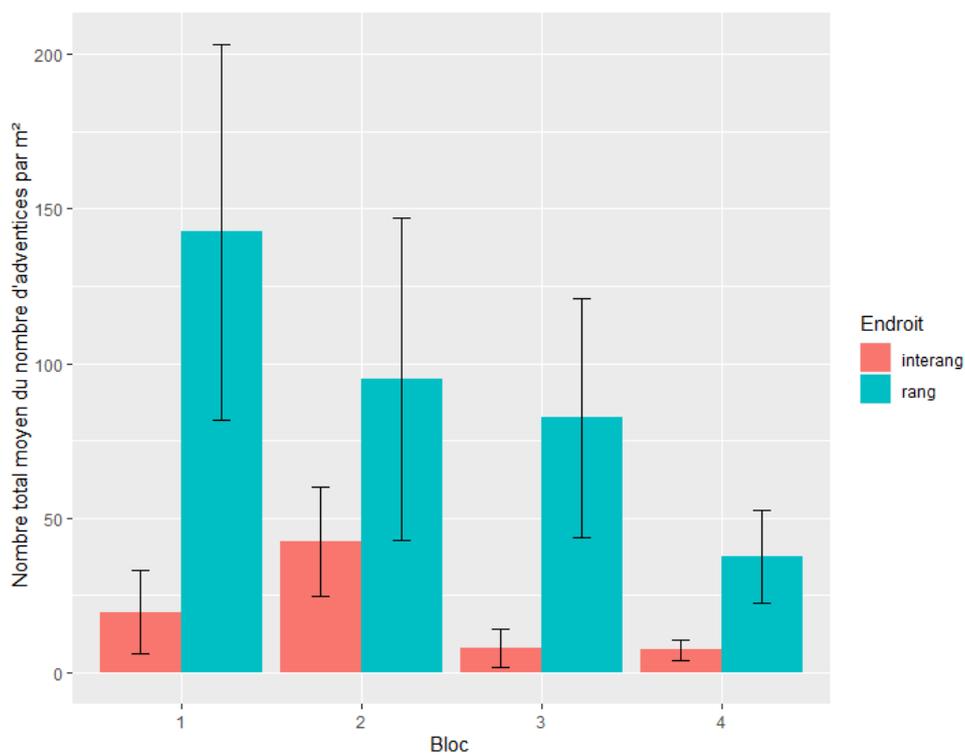


Figure 50: Nombre total moyen du nombre d'adventices par m² en fonction du rang/inter-rang pour chaque bloc.

La PCA réalisée sur la flore adventice dans les parcelles de maïs lors du premier comptage permet de mettre en évidence l'abondance de coquelicots sur l'ensemble de l'essai (Figure 51). La flore adventice du bloc 1 est caractérisée par des chénopodes blancs, laiterons rudes et pensées. Le chénopode blanc et le laiteron rude sont également présents en grande proportion dans le bloc 2. Ce dernier est caractérisé par la présence de graminées, matricaires, camomilles, morelles et renoués des oiseaux. La flore du bloc 3 est quant à elle principalement composée de laiterons rudes et renoués des oiseaux.

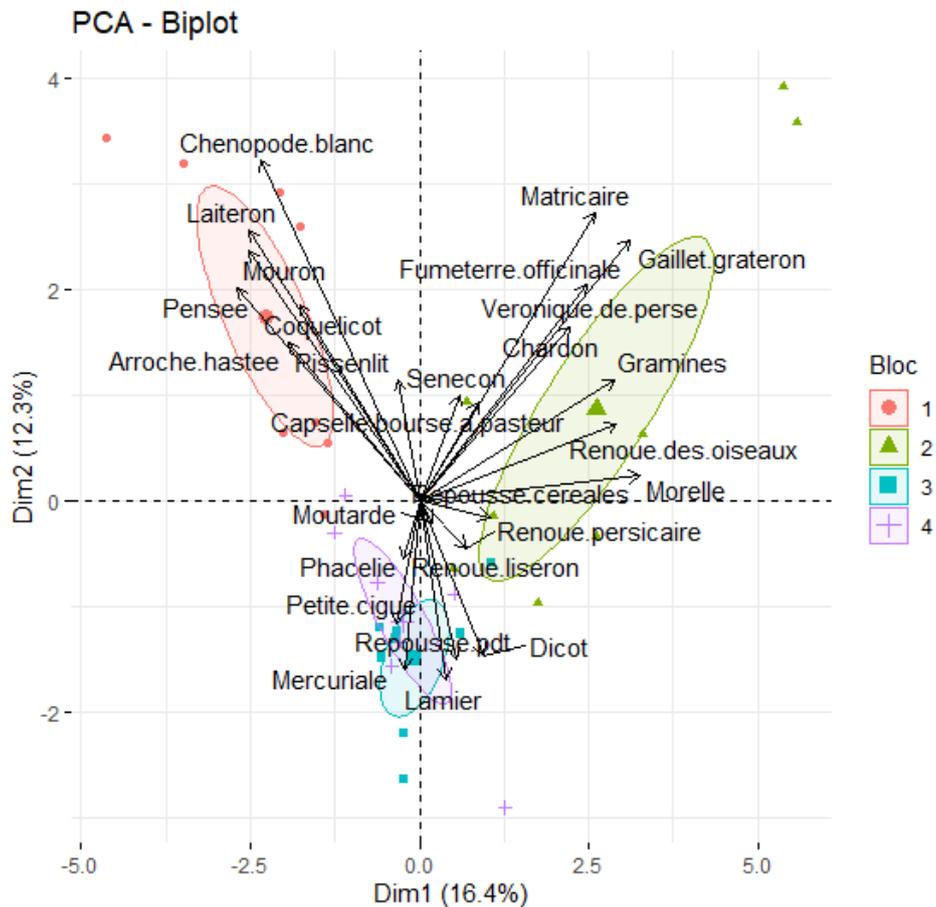


Figure 51: PCA réalisée sur les différentes variables de la flore adventice en fonction du bloc

5.3.5. Culture de cameline

Une interaction significative a été démontrée entre la densité d'adventices et l'interaction entre le facteur bloc et le facteur comptage (p-valeur= 0,0179) (Tableau 15). Pour les blocs 1 et 2, il y a une différence très hautement significative entre la densité d'adventices et le facteur comptage et il y a une différence significative entre le nombre total d'adventices au m² et la facteur comptage au bloc 4. Aucune différence significative n'a été mise en évidence au niveau du bloc 3 (Figure 52). Pour tous les blocs, la densité d'adventices est plus petite au 2^{ème} comptage (T1), soit après le passage de la houe rotative.

Tableau 15: Moyennes de la densité d'adventice en fonction du facteur comptage pour chaque bloc. T0 : Comptage avant le passage de la houe rotative. T1 : Comptage après le passage de la houe rotative

Comptage/Bloc	Bloc 1	Bloc 2	Bloc 3	Bloc 4
T0	216,0±47,9	267,2±56,4	53,6±26,2	39,0±2,0
T1	153,6±28,1	199,2±42,0	52,0±29,9	28,0±6,5

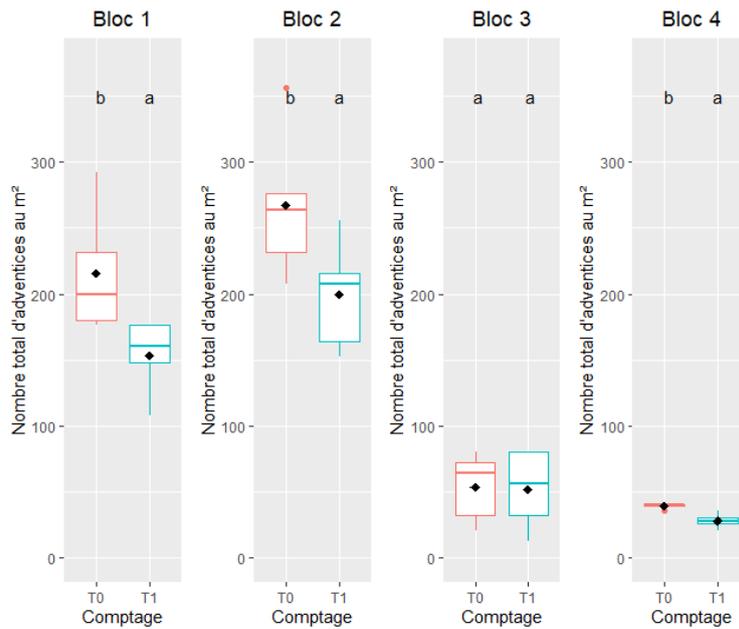


Figure 52: Nombre d'adventives au m² en fonction du comptage. Pour chaque bloc séparément, les modalités ayant des lettres identiques ont des moyennes marginales estimées statistiquement équivalentes au seuil de probabilité de 5% selon le test EMMEANS.

La PCA réalisée sur la flore adventice exprimée dans les parcelles de cameline a permis de mettre en évidence la présence de coquelicots sur l'ensemble des blocs. Les blocs 1 et 2 sont caractérisés par une flore composée de chénopodes blancs, matricaires camomilles et renouées des oiseaux (Figure 53). Le premier bloc se distingue par la densité de laitérons et pensées tandis que les graminées prédominent dans le second bloc. Le bloc 3 présente à la fois une forte population de laitérons rudes et renouées des oiseaux. L'enlèvement des variables chardon et repousse de pomme de terre ne change pas l'emplacement des blocs 3 et 4 sur le graphe. En effet, seul un chardon et une repousse de pomme de terre ont été comptabilisés au champ ; l'enlèvement de ces variables aurait pu induire une modification de l'emplacement des blocs 3 et 4.

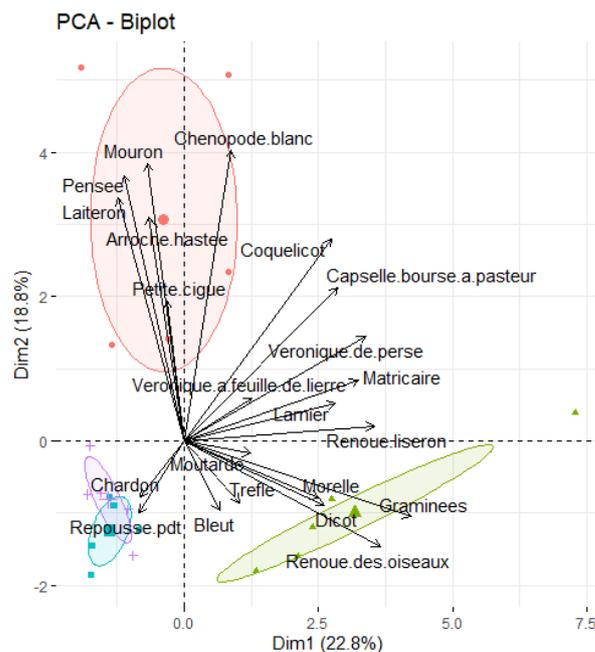


Figure 53: Représentation des différentes variables selon les 2 axes de la PCA réalisée sur la flore adventice en fonction du facteur bloc.

Aucune différence significative entre la biomasse sèche de la cameline et le facteur bloc n'a été mise en évidence. Cependant, il y a une différence très hautement significative entre la biomasse aérienne sèche des adventices et le facteur bloc. Les moyennes des blocs 1 et 2, respectivement de $55,7 \pm 17,0$ et $65,4 \pm 15,3$ en gramme par m^2 , sont plus élevées en comparaison des moyennes des blocs 3 et 4, respectivement de $12,9 \pm 8,7$ et $2,6 \pm 1,9$ en gramme par m^2 . L'étude du pourcentage de biomasse d'adventices par rapport à la biomasse totale présente le même classement statistique (Figure 54). Une différence très hautement significative a été mise en évidence entre les pourcentages de biomasse d'adventices par rapport à la biomasse totale et le facteur bloc (Tableau 16).

Tableau 16: Pourcentages de biomasses d'adventices par rapport à la biomasse totale en fonction du bloc

	Bloc 1	Bloc 2	Bloc 3	Bloc 4
Biomasse sèche	$18,6 \pm 6,8$	$20,9 \pm 7,4$	$4,2 \pm 2,9$	$1,1 \pm 0,6$
Biomasse fraîche	$24,6 \pm 10,2$	$24,2 \pm 8,9$	$6,6 \pm 4,1$	$1,7 \pm 0,4$

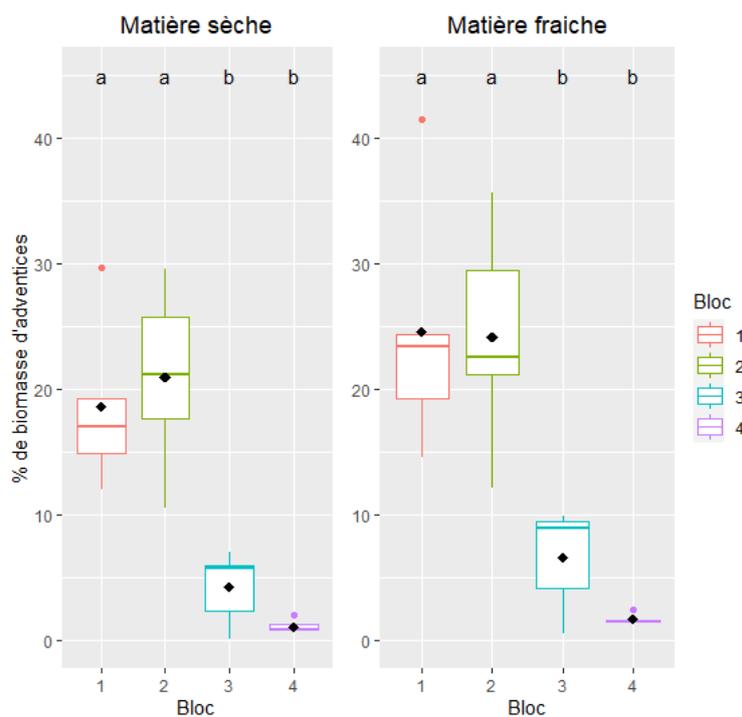


Figure 54: Pourcentage de biomasse aérienne des adventices par rapport à la biomasse totale en fonction du facteur bloc. Les modalités ayant des lettres identiques ont des moyennes statistiquement équivalentes au seuil de probabilité de 5% selon le test SNK.

Une absence de corrélation entre la biomasse de la cameline et la biomasse totale des adventices a été mise en évidence. Le coefficient de corrélation est de l'ordre de 0,030.

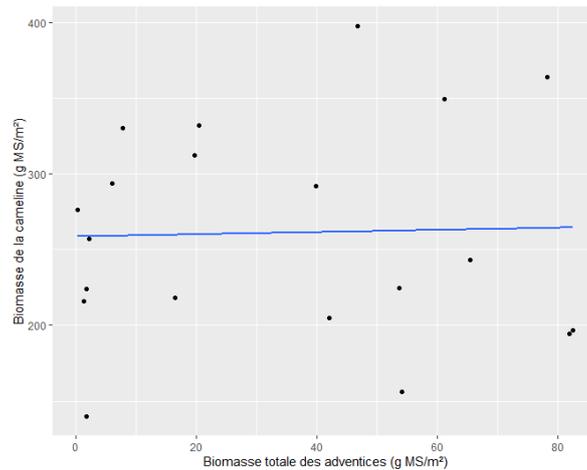


Figure 55: Régression linéaire de la biomasse de la cameline (g MS/m²) en fonction de la biomasse totale des adventices (g MS/m²)

Une analyse en composantes principales a été réalisée sur les biomasses sèches et fraîches des adventices et a permis de mettre en évidence les adventices prédominantes en terme de poids par bloc (Figure 56). La biomasse des adventices du bloc 1 est expliquée en majorité par les chénopodes et les laiterons rudes. En terme de biomasse, les moutardes, graminées et renouées des oiseaux sont prédominantes au niveau du bloc 2 tandis que seuls les coquelicots prédominent dans les blocs 3 et 4.

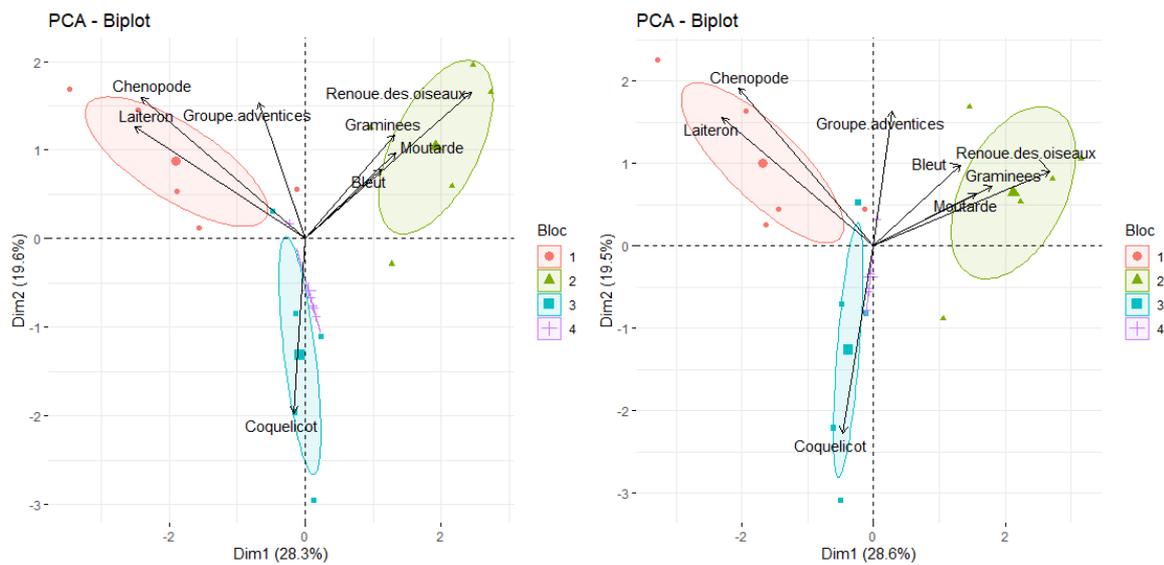


Figure 56: Représentation des différentes variables selon 2 axes. Le graphe de gauche représente la PCA réalisée sur la biomasse sèche des adventices. Le graphe de droite représente la PCA réalisée sur la biomasse fraîche des adventices.

5.4. Suivi des bio agresseurs

5.4.1. Piégeage des insectes en colza

Une différence très hautement significative a été mise en évidence entre le nombre d'insectes piégés et le facteur bloc dans le cas du piégeage de méligèthes, charançons de la tige du colza, charançons de la tige du chou et charançons des siliques (Figure 57). L'emplacement des pièges au sein de la grande parcelle par rapport aux bordures du champ n'influence pas les relevés de manière significative considérant l'emplacement du piège comme un facteur fixe. Cependant, les relevés fluctuent suivant les conditions météorologiques, notamment la température (Figure 58).

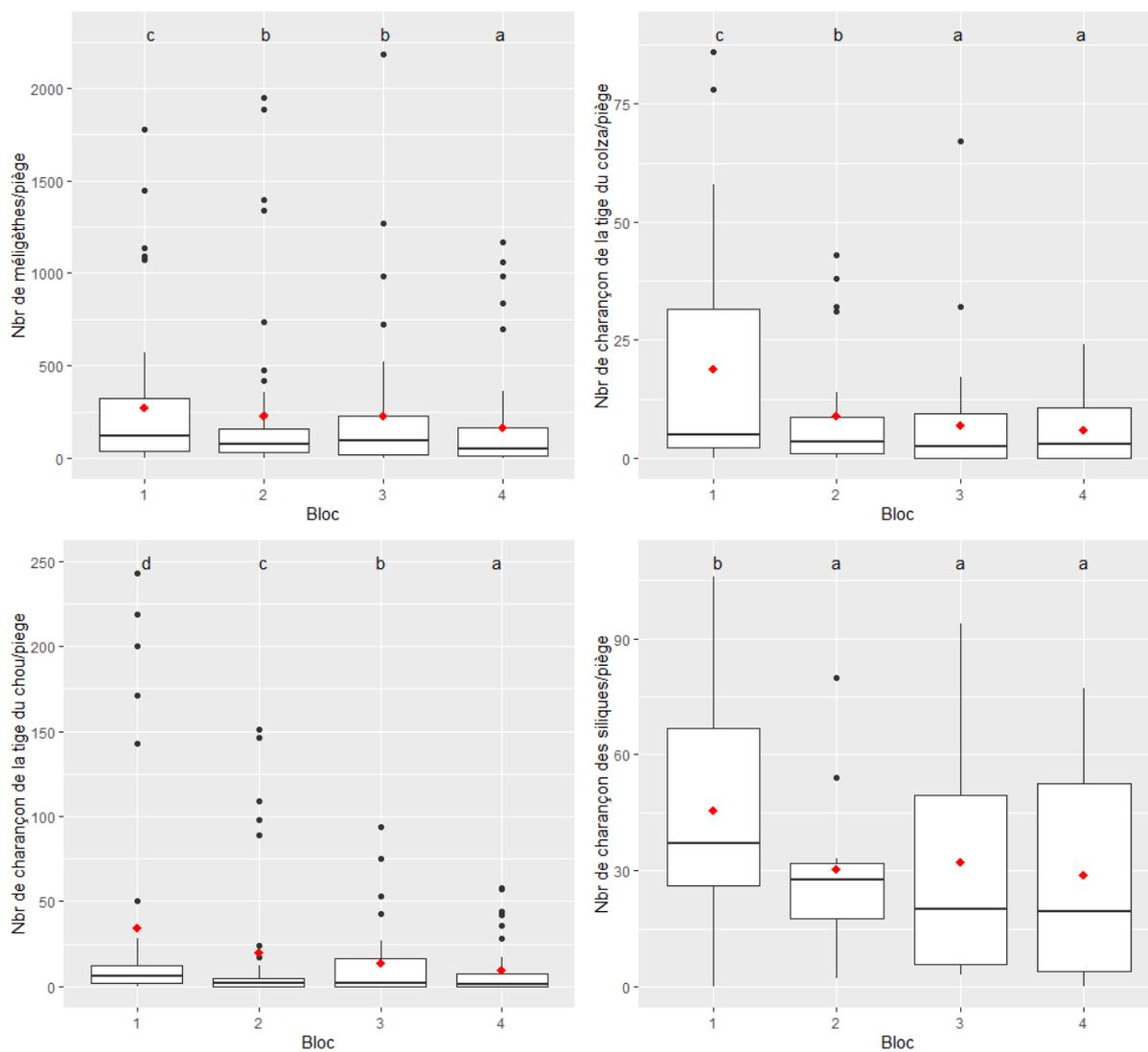


Figure 57: Nombre d'insectes ravageurs comptabilisés par piège en culture de colza en fonction du bloc. Les modalités ayant des lettres identiques ont des moyennes marginales estimées statistiquement équivalentes au seuil de probabilité de 5% selon le test EMMEANS.

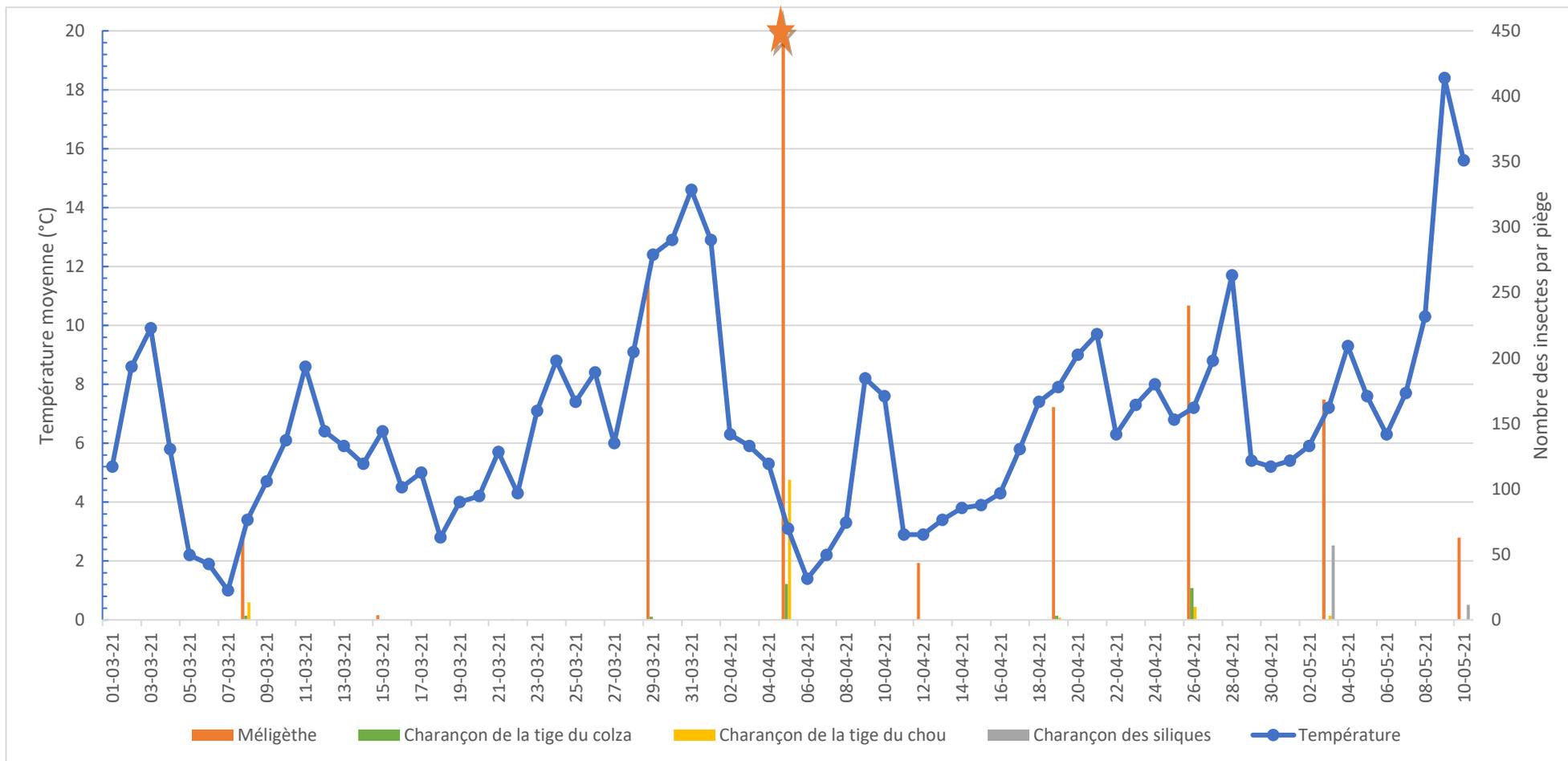


Figure 58: Relevés hebdomadaires des méléigèthes, charançons de la tige du colza, charançons de la tige du chou et charançons des siliques dans les pièges et évolution des températures. * : 1237 méléigèthes au 04/04/2021.

5.4.2. Dissection des tiges de colza

Une différence très hautement significative a été mise en évidence entre le nombre de larves d'altises et le facteur bloc (p -valeur =0,0006). Les nombres de larves d'altises sont de l'ordre de $10,3\pm 6,4$; $8,5\pm 5,1$; $7,6\pm 4,2$ et $5,2\pm 3,7$ pour les blocs de 1 à 4 (Figure 59).

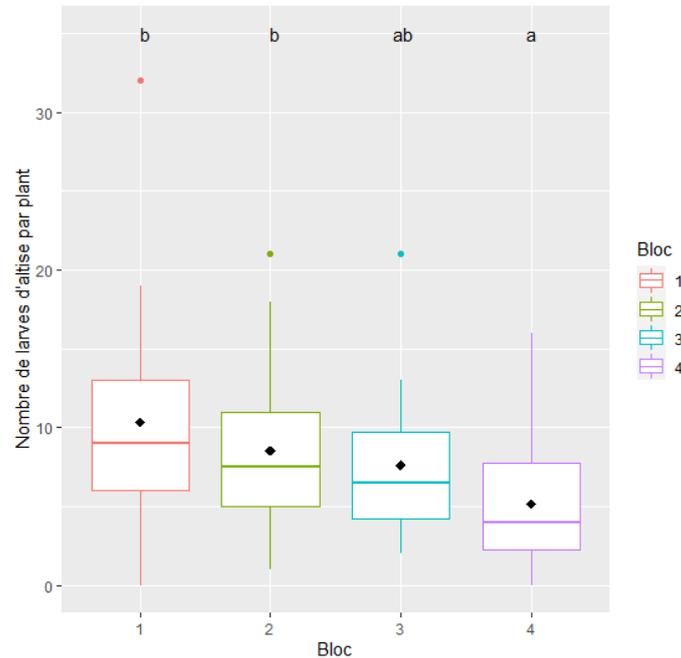


Figure 59: Nombre de larves d'altises par plant en fonction du bloc. Les modalités ayant des lettres identiques ont des moyennes marginales estimées statistiquement équivalentes au seuil de probabilité de 5% selon le test EMMEANS.

Une différence hautement significative a été mise en évidence entre le nombre des larves de charançons du bourgeon terminal et le facteur bloc (p -valeur =0,0046). Seuls les bloc 1 et 4 sont significativement différents l'un de l'autre (p -valeur=0,0265).

Cependant, aucune différence significative n'a été démontrée entre le nombre des larves de charançons de la tige et le facteur bloc (p -valeur =0,1765). Les moyennes du nombre de larves des charançons de la tige sont, respectivement du bloc 1 à 4, de $3,6\pm 2,6$; $3,4\pm 3,1$; $3,7\pm 3,3$ et $2,3\pm 1,9$.

5.4.3. Dissection des siliques

Aucune différence significative n'a été démontrée entre le pourcentage de siliques infectées et le facteur bloc (p -valeur=0,5393). Ces pourcentages sont du bloc 1 au bloc 4 de : $4,4\pm 4,7$; $4,3\pm 4,9$; $6,3\pm 9,2$ et $5,7\pm 7,1$. Toutefois, concernant les siliques infectées, le nombre de larves par silique varie significativement d'un bloc à l'autre (p -valeur=0,0440). Respectivement du bloc 1 à 4, les larves de cécidomyies sont de l'ordre de $3,2\pm 3,8$; $5,3\pm 8,0$; $3,0\pm 4,9$ et $7,8\pm 7,4$ (Figure 60).

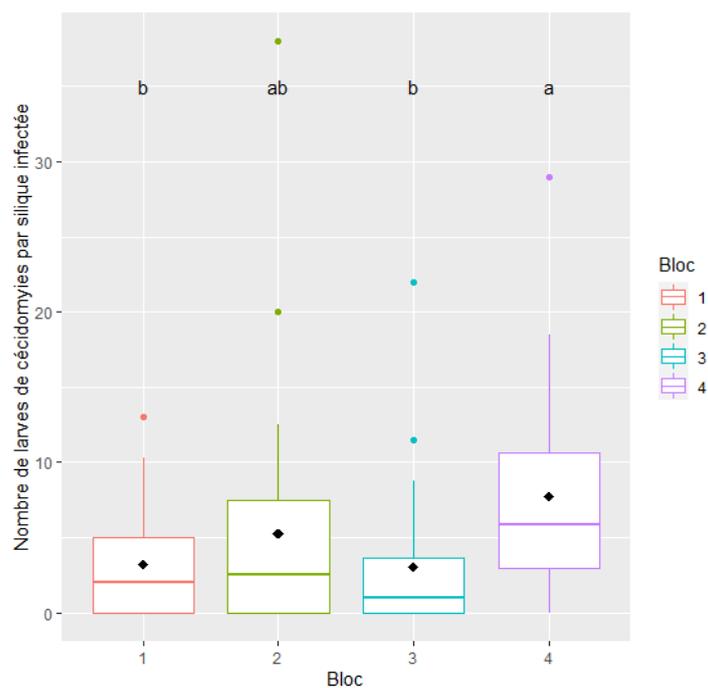


Figure 60: Nombre de larves de cécidomyies par silique infectée en fonction du bloc. Les modalités ayant des lettres identiques ont des moyennes statistiquement équivalentes au seuil de probabilité de 5% selon le test SNK.

De plus, une différence significative a été mise en évidence entre le pourcentage de tiges sans siliques et le facteur bloc (p -valeur=0,0343). Des blocs 1 à 4, les moyennes sont de l'ordre de $60,9 \pm 14,4$; $55,4 \pm 15,0$; $49,8 \pm 17,0$ et $56,5 \pm 11,1$ (Figure 61).

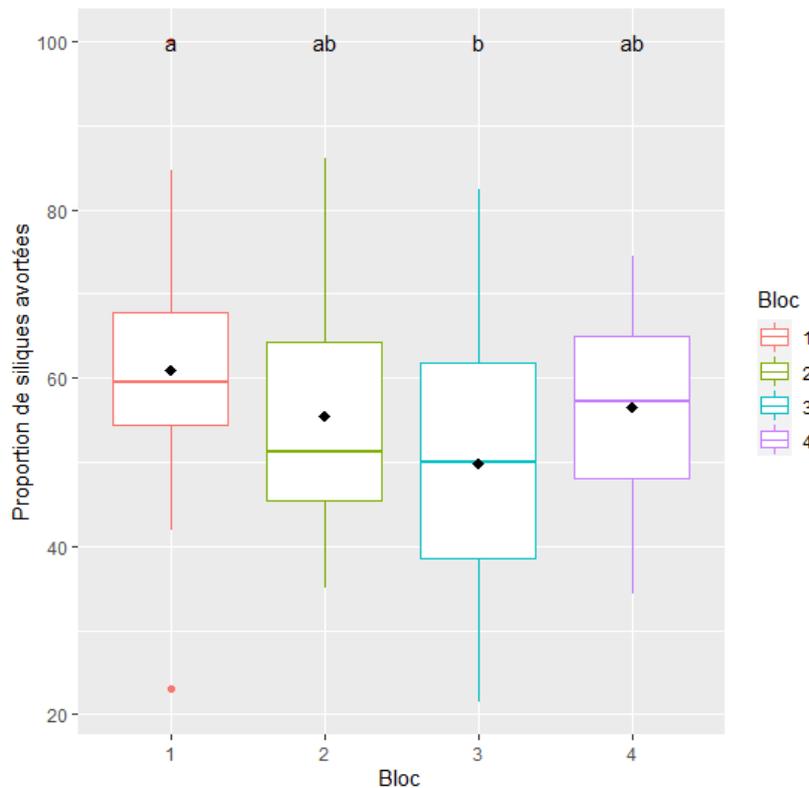


Figure 61: Proportion de siliques avortées en fonction du bloc. Les modalités ayant des lettres identiques ont des moyennes statistiquement équivalentes au seuil de probabilité de 5% selon le test SNK.

5.4.4. Comptage des méligèthes

Une différence très hautement significative a été mise en évidence entre le nombre de méligèthes par plant et le facteur bloc (p -valeur $< 2e^{-16}$).

Le test EMMEANS a permis de mettre en évidence que le bloc 4 a fait face à une plus faible pression en méligèthes par rapport aux trois autres blocs (Figure 62). Toutefois, les 4 blocs présentent un nombre moyen de méligèthes par plante supérieur au seuil d'intervention aux stades 55-59 sur l'échelle BBCH (Weber et al., 1990) (Tableau 17). Sachant que le seuil est de 2-3 méligèthes par plant pour du colza peu vigoureux et de 7-8 pour du colza en bon état, les comptages dans les blocs 3 et 4 excèdent de 2 à 4 fois le seuil fixé.

Tableau 17: Moyenne du nombre de méligèthes par plant

Date	Bloc 1	Bloc 2	Bloc 3	Bloc 4
12/04/2021	11,2±6,9	11,1±4,9	8,8±6,9	6,4±5,2
20/04/2021	13,3±8,7	14,1±6,7	13,5±8,1	9,6±9,3

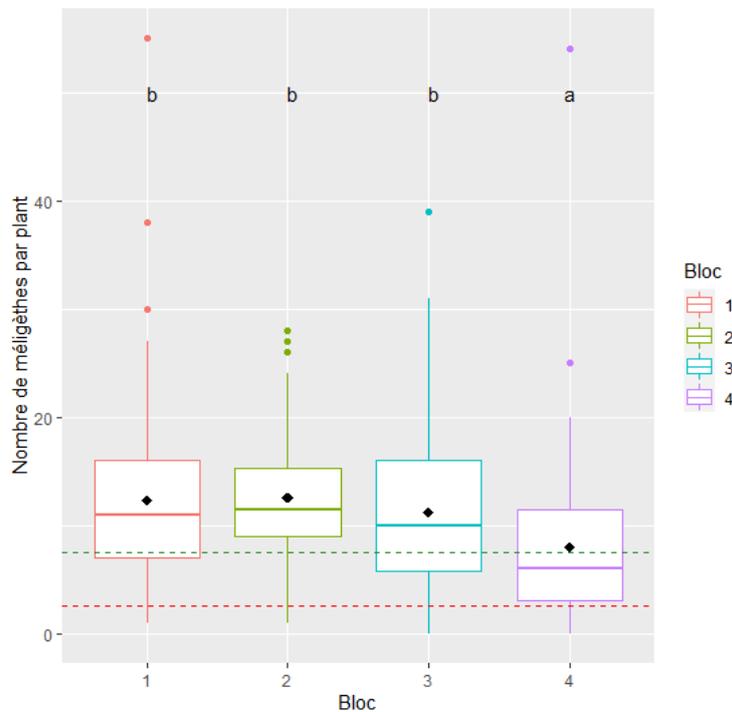


Figure 62: Nombre de méligèthes par plant en fonction du bloc. La ligne rouge représente le seuil en colza peu vigoureux et la ligne verte représente le seuil dans les parcelles en bon état. Les modalités ayant des lettres identiques ont des moyennes marginales estimées statistiquement équivalentes au seuil de probabilité de 5% selon le test EMMEANS.

5.4.5. Comptage des charançons des siliques

Aucune différence significative entre les données de comptages des charançons des siliques et le facteur bloc n'a pu être mise en évidence (p -valeur=0,8093) (Tableau 18).

Tableau 18: Nombre de charançons des siliques comptabilisés sur 40 plants

Date	Bloc 1	Bloc 2	Bloc 3	Bloc 4
07/05/2021	2	2	2	5
27/05/2021	3	0	2	7

5.4.6. Comptage des pucerons dans les parcelles de betteraves

Une différence significative entre le nombre de pucerons par plant et le facteur bloc a été mise en évidence (p-valeur = 0,0247). Le bloc 1 présente une moyenne marginale estimée significativement différente du bloc 3 (p-valeur = 0,0335). Concernant l'atteinte du seuil de 2 pucerons aptères par 10 plantes, il a été obtenu dès le 27 mai pour le bloc 1 dans les deux parcelles et à partir du 3 juin pour le bloc 2 (Tableau 19). Le dépassement du seuil s'est quant à lui opéré à partir du 17 juin pour tous les blocs.

Tableau 19: Nombre de plants de maïs sur 10 présentant des pucerons et nombre de pucerons aptères par 10 plantes en cas de dépassement du seuil lors des comptages sur 40 plants par parcelle.

		Bloc 1		Bloc 2		Bloc 3		Bloc 4	
		Phyto	Zéro phyto	Phyto	Zéro phyto	Phyto	Zéro phyto	Phyto	Zéro phyto
27/05/2021	Nombre de plants sur 10 avec des pucerons	2	2	/	/	/	/	/	/
	Nombre total de pucerons	2	2	/	/	/	/	/	/
03/06/2021	Nombre de plants sur 10 avec des pucerons	1	/	2	1	/	2	/	/
	Nombre total de pucerons	3	/	2	2	/	2	/	/
10/06/2021	Nombre de plants sur 10 avec des pucerons	/	/	/	1	/	/	/	/
	Nombre total de pucerons	/	/	/	6	/	/	/	/
17/06/2021	Nombre de plants sur 10 avec des pucerons	1	/	2/5/2/2	2/1	3/1	3	2/3/2	3/2
	Nombre total de pucerons	3	/	9/7/2/2	2/2	3/2	3	3/3/3	10/2

5.4.7. Estimation du niveau de populations de taupins dans les parcelles de maïs

À l'issue des 4 semaines, aucune larve de taupin n'a été comptabilisée dans aucun piège.

5.4.8. Comptage des pucerons dans les parcelles de maïs

Aucune différence significative n'a été mise en évidence entre les comptages de pucerons et le facteur bloc. En effet, quasiment aucun *Metopolophium dirhodum* n'a été comptabilisé.

5.5. Suivi des agents pathogènes

5.5.1. Parcelles de colza

Des symptômes de maladies ont été observés dans toutes les parcelles de colza sans distinction. Une pourriture blanchâtre se développait au niveau des feuilles à partir d'un pétale collé sur le limbe. Il s'agit du sclérotinia (*Sclerotinia sclerotiorum*). Les symptômes sont observés de façon éparse au sein de chaque bloc.

5.5.2. Parcelles de cameline

Des signes de maladies ont été observés dans toutes les parcelles de cameline dès le 25 juin. Une moisissure blanche se développait sur les entre-nœuds supérieurs de la tige et s'est étendue, par la suite, aux siliques en développement. Les tiges affectées présentaient une croissance courbée au niveau de ses entre-nœuds. En fin de floraison, les symptômes sont observés de manière aléatoire sur l'ensemble des parcelles et leur abondance est semblable d'un bloc à l'autre (Figure 63). Une analyse du mycélium sous lame et lamelle au microscope a mis en évidence la présence du pathogène *Hyaloperonospora camelinae* (précédemment *Peronospora camelinae* Gaum. sin *Peronospora parasitica*) (Putnam et al., 2009) ; pathogène caractéristique par ses conidiophores qui se ramifient de manière dichotomique avec des branches divergentes (Figure 64) (Cristea et al., 2014).



Figure 63: Plants de cameline infectés par *Peronospora camelinae*

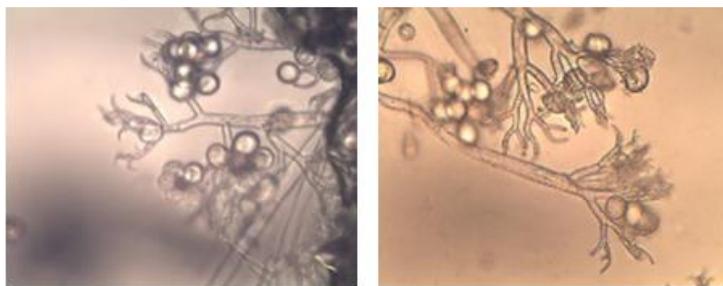


Figure 64: *Peronospora camelinae* au microscope.

6. Discussion

6.1. Levées

Les pourcentages de germination en parcelles de betteraves sont homogènes d'un bloc à l'autre et sont de l'ordre de 80. Cela équivaut à 80 000 plants/ha soit la marge inférieure de l'optimum recommandé par la firme KWS (Anon., sd).

En culture de maïs, le bloc 2 présente un pourcentage de levées plus faible. Cette différence peut s'expliquer lors de la réalisation du semis ; celui-ci a pu être plus hétérogène. Cette différence ne semble pas être due aux taupins au vu de l'absence d'observations de ceux-ci au sein des pièges.

En culture de colza, les différences de levées pourraient être expliquées par des différences liées au sol dans les parcelles des blocs 3 et 4 en comparaison des blocs 1 et 2 (WalOnMap, sd). Ces pourcentages auront un effet direct au niveau du rendement au vu des différences des biomasses de colza d'un bloc à l'autre.

Les faibles pourcentages de levées en cameline pourraient être expliqués par les attaques d'altises observées en grandes proportions. Il se pourrait que la multiplication des morsures de ce ravageur ait menée à la mort d'un certain pourcentage de plantules (Bonnemaison, 1962; CETIOM, 2013). La très petite taille des semences ne semblerait pas en être la cause au vu de la vigueur de celles-ci (Berti et al., 2016).

6.2. Suivi du stock semencier

Au niveau de la densité d'adventices attendue suite au suivi du stock semencier, il est dit que 3 à 7% des semences de la banque de semences actives du sol sont capables de germer au champ (Zhang et al., 1998). Selon Zhang et al., une plus grande diversité d'espèces est obtenue lors du suivi en serre de la banque de semences par rapport aux comptages au champ (Zhang et al., 1998) ; cette différence n'a pas été marquée lors du suivi de l'essai ECOFOODSYSTEM. Toutefois, les densités d'adventices obtenues sont bien plus faibles (Figure 26) que celles obtenues dans diverses études sur le suivi de la banque de graines du sol (Zhang et al., 1998). Ceci peut être expliqué par diverses raisons.

Le suivi du stock semencier a été perturbé par les conditions environnementales inhérentes à la serre. En effet, celle-ci a été chauffée de mars à début mai et l'éclairage y est modifié. Il n'y a donc pas eu d'évolution des températures et de la luminosité au fil du temps. L'estimation de la densité d'adventices a donc pu être sous-estimée au vu des conditions peu appropriées à la germination de certaines espèces (Abella et al., 2013; Mahé et al., 2021). Au vu des conditions environnementales, un arrosage par le bas n'était pas suffisant et a donc été complété par un arrosage à la surface. Toutefois, une croute de battance causée par le régime hydrique s'est formée et a donc pu limiter la germination de certaines espèces. En effet, certaines journées, un ou deux arrosages ne suffisaient pas à maintenir l'humidité au niveau de l'échantillon de sol ; les phases d'assèchement et d'irrigation se succédaient donc suivant le timing des arrosages. Les fortes variations hydriques au niveau des échantillons de sol pourraient avoir causé la mortalité de certaines plantules. La présence abondante de mouches de terreau a également pu mener à une réduction de la germination. Afin d'éviter ces dégâts, des pièges collants ont été installés parmi les bacs de stock semencier un mois et demi après la mise en place de l'essai.

La serre dans laquelle le suivi du stock semencier prenait place a, au cours de l'essai ainsi qu'auparavant, été utilisée à la mise en œuvre d'autres essais et plantations. Cet historique ainsi que les plantes présentes ont causé des contaminations aux bacs de stock semencier. Les espèces identifiées comme telles étaient retirées des bacs sans être comptabilisées (Par exemple : oxalis corniculé). Cependant, une contamination par de l'euphorbe réveille-matin a pu mener à des confusions lors des comptages. Des contaminations via les fenêtres ouvertes ont également été observées ; c'est particulièrement le cas pour les pissenlits. De nombreuses graines de ces derniers,

provenant des zones environnant la serre, se sont retrouvées à la surface des échantillons de sol. Une forte densité de pissenlit a donc été observée, dont une proportion plus ou moins importante provenant des contaminations. Il en est de même pour le saule ; quelques individus ont été comptabilisés au champ mais une forte densité a été dénombrée au niveau des stocks semenciers. Ceux-ci peuvent venir du stock semencier lui-même ou via des contaminations extérieures.

Concernant la diversité de la flore adventice exprimée au niveau des bacs de stock semencier comparée aux comptages au champ, les espèces majoritaires dans les différents blocs le sont également au niveau du suivi du stock semencier : coquelicots, matricaires, chénopodes blancs, pensées, laitrons rudes, graminées et renouées des oiseaux.

6.3. Relevés de la flore adventice exprimée

L'un des objectifs de ce TFE était de comparer le niveau de salissement des parcelles cultivées selon les deux modalités de la rotation dite de référence ; soit l'une ne faisant l'usage d'aucun pesticide et l'autre autorisant l'application d'herbicides. Cela était possible dans les parcelles de colza et de betteraves.

Il est à noter qu'aucune intervention mécanique n'a été réalisée dans les parcelles « zéro phyto » en culture de colza au vu des conditions climatiques y ayant été peu favorables. Seul un herbicide a été appliqué dans la parcelle phyto. L'efficacité de celui-ci est indéniable au vu du nombre total d'adventices (Figure 30) et de leur biomasse aérienne sèche plus de trois fois inférieure aux autres parcelles. Cette efficacité du désherbage chimique a également été démontrée lors du second comptage en betteraves où le nombre d'adventices sur les parcelles non phyto présentent une densité d'adventices 7 fois supérieure à la parcelle phyto (Figure 38).

L'herbicide présente donc un effet direct au niveau de la flore adventice mais également un effet indirect au niveau de la culture. En effet, la biomasse fraîche de colza présente une moyenne significativement supérieure dans les parcelles phyto par rapport aux autres parcelles. Cependant, cette différence n'a pas été mise en évidence sur la biomasse sèche. En culture de betteraves, les biomasses des betteraves en parcelles phyto sont une fois et demie plus élevées que les biomasses des betteraves cultivées dans les parcelles zéro phyto. Cette différence peut être expliquée par la compétition pour l'eau et les nutriments entre la culture et les adventices coexistant au même endroit (Petit et al., 2018). En effet, lorsqu'une ressource est limitante pour la plante, cela impacte l'efficacité d'utilisation des autres ressources (Petit et al., 2018). La compétition pour l'eau peut particulièrement être mise en évidence en culture de colza où seule la biomasse fraîche de la culture est significativement différente en fonction du type de désherbage. En culture de betteraves, cette différence pourrait également s'expliquer par l'ombrage causé par les adventices présentes en forte densité au niveau du rang, tels que les chénopodes dans le bloc 1 (Annexe 8). En effet, le poids du bouquet foliaire ainsi que le poids racinaire sont significativement diminués suite à une augmentation de l'ombrage (Ghandorah et al., 1988).

Une corrélation négative entre la biomasse totale des adventices et la biomasse du colza a été mise en évidence pour les blocs 1 et 2. Comme illustré dans la Figure 37, plus la biomasse totale des adventices est grande, plus la biomasse du colza est faible. Cela met en évidence la compétition des adventices vis-à-vis de la culture de rente. Une meilleure gestion de la flore adventice permettrait d'obtenir de meilleurs rendements. Il est également à prendre en considération que la biomasse des adventices est la variable étant la plus corrélée aux pertes de rendement par rapport à la densité d'adventices. De plus, le ratio entre la biomasse totale des adventices et la biomasse de la culture est un bon indicateur de réduction de rendement (Colbach et al., 2018). Comme cela a été observé en culture de colza, malgré une forte densité d'adventices au niveau du bloc 2, la biomasse totale de ces dernières était plus faible que dans d'autres blocs (Figure 37, Annexe 10)

En culture de cameline, l'absence de corrélation entre la biomasse totale des adventices et la biomasse de la culture pourrait s'expliquer par la compétition de cette dernière vis-à-vis des adventices (Berti et al., 2016).

Toutefois, les relevés en culture de betteraves ont permis de démontrer qu'un désherbage mécanique pouvait permettre d'atteindre un niveau de densité d'adventices aussi faible qu'un désherbage chimique au niveau de l'inter-rang en comparaison du rang. Le pourcentage de réduction d'adventices (Figure 41) exacerbe cette mise en évidence au niveau de l'inter-rang, représentant 80% de la parcelle. De plus, il est à souligner que la réalisation des traitements phytosanitaires a été couplé aux passages de la bineuse. Il se pourrait que les passages de la bineuse aient induit une réduction du nombre d'adventices plus importante qu'un désherbage chimique seul. Le système FAR étant actif contre les dicotylées, ce serait particulièrement le cas en présence de graminées (KBIV-IRBAB, 2020). Ces mesures démontrent qu'il est possible de réduire drastiquement les densités d'adventices dans l'inter-rang si le désherbage mécanique est réalisé au moment opportun dans des conditions optimales.

En effet, les comptages réalisés dans les parcelles de maïs et cameline ont pu démontrer les fortes différences d'efficacité des opérations de désherbage mécanique selon l'outil utilisé, le stade de développement des adventices et de la culture ainsi que les conditions climatiques. En culture de maïs, le couplage de la houe rotative à la bineuse conduit à la meilleure réduction de la densité d'adventices dans l'inter-rang. Au niveau du rang, la réduction du nombre d'adventices suite au passage combiné de la houe rotative et de la bineuse n'est significative que dans 2 blocs sur 4 (Figure 48). Cette diminution est uniquement due au passage de la houe rotative. Celle-ci peut s'expliquer par un pourcentage de réduction deux fois plus faible au niveau du bloc 3 en comparaison des 3 autres blocs. La réduction de la densité d'adventices, particulièrement au niveau du rang, aurait pu être accentuée par la réalisation plus précoce du passage de la houe rotative ; certaines adventices se trouvaient à des stades avancés de développement lors du passage de cette dernière. Un passage de la herse étrille à la levée aurait pu augmenter la diminution du nombre d'adventices. Aucun comptage n'a été réalisé entre les deux passages successifs de la bineuse étant donné l'humidité, suite aux précipitations abondantes, favorisant la réimplantation des adventices. Les stades avancés de certaines espèces d'adventices combinées aux précipitations ont favorisé le maintien de certaines adventices dans l'inter-rang et ce, malgré les deux passages successifs de la bineuse. Tout comme la betterave, le maïs étant une culture sarclée, l'efficacité du désherbage est diminuée au niveau du rang. Toutefois, le rang en maïs ne représente que 13,3% de la superficie. Considérant une analyse intra-annuelle, ces adventices positionnées proches de la culture sont néanmoins plus compétitives vis-à-vis de cette dernière en comparaison des adventices positionnées dans l'inter-rang (Heisel et al., 2002) ; les adventices dans le rang causent une diminution du rendement plus importante en comparaison de celles présentes dans l'inter-rang (Pike et al., 1990; Heisel et al., 2002). D'autre part, considérant une analyse inter-annuelle, l'impact du rang pourrait être limité au niveau spatio-temporel étant donné que les rotations contiennent uniquement 1 à 2 cultures sarclées tous les 8 ans. En culture de cameline, la faible diminution du nombre d'adventices suite au passage de la houe rotative peut s'expliquer par le stade de développement avancé des adventices. La diminution du nombre d'adventices aurait pu être accentuée par le passage de la herse étrille aux stades rosettes.

Un second objectif de ce TFE est d'évaluer l'homogénéité des parcelles quant à leur diversité floristique et leur niveau d'infestation. L'analyse généralisée sur l'ensemble de l'essai sans distinction des cultures a prouvé la décroissance de la densité d'adventices du bloc 1 à 4 (Figure 29). Cette tendance a été confirmée pour toutes les cultures sauf la cameline où le bloc 2 présente une densité d'adventices supérieure au bloc 1 (Annexe 10) comme dans le suivi du stock semencier (Figure 26). La densité d'adventices par m² du bloc 1 au bloc 4 peut être divisée par 5 dans certains cas. Il est donc évident que l'essai ECOFOODSYSTEM a été mis en place sur des blocs significativement non homogènes entre eux du point de vue du salissement. Néanmoins, l'homogénéité des parcelles au sein d'un même bloc, à l'exception du bloc 2, a été démontrée suite à une analyse supplémentaire des

cultures prenant en compte le second comptage en parcelles zéro-phyto de betteraves (Annexe 8). Au niveau de la densité d'adventices en fonction des cultures, la différence au niveau des parcelles de betteraves s'explique par le fait que le premier comptage ait été réalisé très précocement ; seule une partie de la flore adventice était exprimée. En ce qui concerne la diversité floristique, celle-ci est différente d'un bloc à un autre (Figure 31, Figure 42, Figure 51, Figure 56). Néanmoins, considérant les cultures de printemps, des tendances similaires des adventices prédominantes par bloc peuvent être mises en évidence. Cette diversité floristique ainsi que le niveau d'infestation peuvent être expliqués par les précédents culturaux divers d'un bloc à l'autre. En effet, les parcelles présentent un historique cultural très diversifié.

La diversité et la densité au niveau du bloc 2 peuvent s'expliquer en partie par la mise en place d'un essai de couvert favorisant la faune de 2015 à 2017 (WalOnMap, sd). Cet essai avait mis en place des mélanges de fleurs (*Asteraceae*, *Lamiaceae*, *Poaceae*,...) et peut expliquer la forte présence d'*Agrostis* spp. en parcelles de colza dans le bloc 1 (Séverin et al., 2017) (Annexe 9). De 2006 à 2008, des bandes messicoles avaient été implantées en bordures des blocs 3 et 4 actuels (Pierreux Jérôme, Communication personnelle). Celles-ci peuvent en partie expliquer la diversité floristique constatée sur l'essai ECOFOODSYSTEM. Une autre hypothèse expliquant cette densité et diversité d'adventices est la présence des bassins de décantation de la sucrerie jusqu'au milieu des années 70 à proximité des actuels blocs 1 et 2.

Un moyen de diminuer la densité d'adventices émergées pourrait être l'implantation d'un couvert végétal combiné à la culture de rente. La diminution significative de l'abondance d'adventices a été démontrée dans une culture de colza combinée à un mélange de pois, trèfle d'Alexandrie et vesce commune (Lorin et al., 2015). L'implantation d'un couvert végétal à base de légumineuses sensibles au froid en culture de colza permet éviter la compétition lors de l'établissement des composantes du rendement au printemps (Lorin et al., 2015) La réduction de l'émergence ne peut toutefois être constatée que sur les espèces d'adventices photosensibles. Ces couverts végétaux ont également la capacité de diminuer la biomasse des adventices (Cordeau et al., 2015; Lorin et al., 2015) et de limiter leur impact négatif sur la productivité de la culture de rente (Petit et al., 2018). La mise en place de couverts végétaux durant les périodes de jachère a également montré son efficacité de réduction d'émergence d'adventices dans les cultures successives ; la réduction peut varier de 41 à 78% pour un couvert végétal composé d'un mélange de légumineuses (Fisk et al., 2001). Toutefois, l'implantation d'un couvert végétal combiné à la culture de rente n'est pas toujours possible ; c'est le cas par exemple des betteraves, pommes de terre,...

Il est à noter que des prairies temporaires seront mises en place dans les rotations. Celles-ci ont démontré leur impact sur l'abondance de la flore adventice suite au régime de perturbations (fauche/pâturage) (Chauvel et al., 2018). En effet, les cultures fourragères provoquent une suppression indirecte des adventices (Lehnhoff et al., 2017). Néanmoins, les effets strictement dus au pâturage des couverts végétaux en inter-culture n'ont quant à eux pas été démontrés concernant la densité d'adventices (Tracy et al., 2009; McKenzie et al., 2016). Au point de vue de la rotation dite agroécologique où les intercultures ont été pâturées par des moutons, les parcelles ont été cultivées ultérieurement par du maïs où les densités d'adventices sont équivalentes aux parcelles cultivées par d'autres cultures de printemps. Cette observation est en accord avec les résultats présentés par Tilkens (2021) où un comportement de rejet vis-à-vis du pâturage des dicotylédones adventices a pu être mis en évidence en cette première année d'essai (Nicolas, 2021).

6.4. Suivi des bioagresseurs

Concernant le suivi des bioagresseurs, l'objectif de ce TFE était l'identification et la quantification de ceux-ci en vue de déterminer si les seuils d'intervention recommandés étaient atteints. Ces mesures ont permis de déterminer si les rotations innovantes mises en place dans un contexte fortement agroécologique et zéro phyto étaient durables et résilientes sur le long terme ainsi que si les 4 blocs faisaient face à un niveau équivalent de bioagresseurs.

6.4.1. Parcelles de colza

Dans notre essai, les dénombrements de charançons des siliques n'ont jamais dépassé le seuil d'intervention fixé à 20 individus pour 40 plants et il en est de même dans les parcelles suivies par le CePiCOP (Cartryse, 2021). Cette faible présence peut s'expliquer par les températures relativement faibles au cours du mois de mai. En effet, les vols sont importants lorsque les températures sont, durant plusieurs jours, égales ou supérieures à 15°C à une hauteur de 2m (Bonnemaison, 1962). Or, la température moyenne sous abri au cours du mois de mai a été de 10,7°C. L'évaluation des dégâts de la présence de charançons des siliques est estimée via le comptage des siliques infectées. Les relevés en piège jaune démontraient une moyenne significativement différente pour le bloc 1. Cependant, ces données ne permettent pas de tirer une conclusion précise au vu du vol aléatoire des charançons des siliques mais elles permettent d'annoncer l'arrivée de ceux-ci et de permettre ainsi une surveillance plus accrue

Concernant les larves de charançons des siliques, les pourcentages d'infection sont de l'ordre de 4,2 à 6,3%. Toutefois, ces valeurs peuvent être surestimées suite à l'échantillonnage réalisé dans les bordures des parcelles (vu la difficulté d'entrer dans le champ à ce stade de la culture). En cas d'infestation faible, les pourcentages tendent à être plus élevés sur les côtés qu'au centre car les charançons envahissent en premier lieu les bordures des cultures (Free et al., 1978). Au vu du niveau d'infestation des parcelles d'ECOFOODSYSTEM, les rendements devraient être sujets à une très faible diminution par les dégâts causés par les charançons des siliques suivant les données de rendement des études réalisées. En effet, le colza fait preuve d'un pouvoir de compensation qui devrait induire une augmentation du poids des graines sur les plants avec un nombre réduit de graines (Free et al., 1978). Selon Buntin (1999), le colza tolère des infestations de l'ordre de 26% sans pertes de rendement considérables.

Les pourcentages de tiges sans siliques résultant des dégâts de méligèthes sont similaires au centre et dans les bordures des parcelles. De plus, les résultats obtenus par plante ou par racème principal sont similaires (Seimandi-Corda et al., 2021). L'échantillonnage de cette valeur n'a donc pas été biaisé. Une corrélation entre ce pourcentage et le rendement n'a pu être mise en évidence dans la littérature (Free et al., 1978). Cette absence de corrélation peut également être expliquée par le pouvoir de compensation de la culture de colza ainsi que la fiabilité des comptages de tiges sans siliques comme dégâts causés par les méligèthes. En effet, d'autres facteurs sont en jeu tels que la pollinisation, les conditions climatiques ainsi que des facteurs physiologiques (Free et al., 1978). Au vu des gels nocturnes fréquents en avril ainsi que début mai, des boutons avortés et des petites siliques jaunes ont été constatés au début du mois de mai. Ces dommages dus au gel ont été comptabilisés dans les tiges sans siliques et ont donc pu induire une surestimation des dégâts des méligèthes. En effet, les pourcentages de tiges sans siliques dans les parcelles d'ECOFOODSYSTEM varient entre 49,8 et 60,9. Toutefois, le poids des graines par plante est un meilleur indicateur de rendement que le nombre de siliques développées étant donné le pouvoir de compensation de la culture de colza (Diepenbrock, 2000).

Néanmoins, les comptages de méligèthes sur 40 plants réalisés en champ ont mis en évidence le dépassement du seuil de traitement à chaque reprise. Au 20 avril, de 9 à 13 méligèthes étaient comptabilisés par plante. Une étude réalisant les comptages sur le racème principal a démontré une réduction de rendement de 4,5g à 2,7g par plante lorsque la densité passe de 1 à 4 méligèthes (Schneider et al., 2015). Les résultats issus du piégeage sont relativement semblables aux comptages hormis pour le bloc 1 ayant une moyenne supérieure en comparaison des blocs 2 et 3 dans le cas du piégeage (Figure 57, Figure 63). Ces différences de densités d'un bloc à l'autre peuvent être expliquées par des facteurs météorologiques tels que la vitesse du vent et le rayonnement (Mauchline et al., 2017). L'arrivée massive des méligèthes dans les parcelles d'ECOFOODSYSTEM est suivie d'une chute brutale des températures durant plus de 15 jours. Cette situation n'est pas profitable à la culture de colza. En effet, celle-ci se trouve aux stades sensibles 50-53 et voit son développement ralenti tout en présence d'une grande population de méligèthes. Ceux-ci réduisent leurs déplacements en cas de période froide, température inférieure à 8-10°C, ou pluvieuse comme ce fut le cas début avril (Bonnemaison, 1962). En comparaison des parcelles suivies par le CePiCOP, l'essai ECOFOODSYSTEM a fait face à une plus forte pression de méligèthes (Cartrysse et al., 2021a).

Selon Williams (2010b), la larve de l'altise du colza est celle causant le plus de dégâts. En effet, celle-ci a pour impact d'affecter la croissance de la plante ainsi que sa vigueur et a pour conséquence une réduction du rendement (Williams, 2010b). Concernant le charançon du bourgeon terminal, la moyenne du nombre de larves par plante est inférieure à 1 ; son incidence est donc minime. En effet, il ne fait pas partie des ravageurs les plus importants et dommageables en culture de colza (Williams, 2010b). Toutefois, des pertes supplémentaires dues aux larves de charançon de la tige du chou et du colza sont à prévoir. Celles-ci peuvent varier de 5% à 32% voire plus (Milovac et al., 2017). Selon l'analyse de la dissection des tiges, le niveau d'incidence devrait être identique d'un bloc à l'autre contrairement aux relevés en piège jaune.

Les 6 principaux ravageurs du colza ont été observés au sein de l'essai ECOFOODSYSTEM. Au vu des seuils d'intervention dépassés et de la forte abondance des ravageurs, des pertes de rendement plus ou moins considérables sont à prévoir. En effet, les pertes de rendement spécifiques à chaque ravageur, bien que plus ou moins restreintes, vont s'accumuler et mener à une diminution du rendement de manière significative. En gestion conventionnelle, ces pertes attendues de rendement pourraient être diminuées suite à la réalisation de traitements phytosanitaires conseillés par le CePiCOP. En effet, au vu de l'abondance de méligèthes à la date du 1^{er} avril, un traitement insecticide contre ceux-ci était conseillé afin de diminuer drastiquement les populations avant la chute des températures et les conditions hivernales ralentissant le développement de la culture (Cartrysse et al., 2021a). Un traitement aurait également pu être réalisé afin de diminuer les populations de charançons de la tige (Cartrysse et al., 2021b).

Néanmoins, un mélange de 10% d'une variété très précoce (ES ALICIA) et 90% d'une variété tardive (DK EXPANSION) de colza a été semé afin de limiter l'impact des méligèthes (CePiCOP, 2019). En effet, ES ALICIA est dite une variété piège à méligèthes par sa floraison plus hâtive. Toutefois, ce mélange ne permet pas de réduire les attaques en cas de fortes infestations (CETIOM, 2013). Au vu des fortes infestations de méligèthes observées dans ce travail, la mise en place de ce mélange variétal ne devrait pas avoir permis la réduction des attaques et in fine limiter les pertes de rendement.

Une mesure largement étudiée afin de limiter les effets des ravageurs du colza est d'implanter une culture dite piège. Cette culture mise en place sur une petite proportion de la parcelle, plus particulièrement sur le périmètre, a pour objectif d'attirer un ravageur hors de la culture de rente (Hokkanen, 1991; Cook et al., 2004). Un exemple de culture piège est le chou champêtre (*Brassica rapa* L.) qui a le potentiel d'attirer les méligèthes (Cook et al., 2004; Gotlin Čuljak et al., 2016). Une proportion de l'ordre de 10% de cette culture réduirait les populations de manière significative (Cook et al., 2004). Ce potentiel est dû au stade de croissance plus avancé de la culture dite de piège. En

effet, une plante au stade précoce de floraison est plus attirante qu'une autre au stade bourgeon (Gotlin Čuljak et al., 2016).

Une mesure basée sur la conservation des parasitoïdes pourrait permettre d'augmenter le contrôle des méligèthes. Trois parasites-clés de ceux-ci sont *Phradis interstitialis*, *Phradis morionellus* et *Tersilochus heterocerus* (Cook et al., 2008). Seuls 2% survivent d'une année à l'autre. Une mesure augmentant leur niveau de survie, par leur conservation dans le sol telle que la diminution du labour (non-inversion) qui double l'émergence des parasitoïdes par rapport à un labour conventionnel (Ferguson et al. (2007) cité par Cook et al. (2008)), permettrait l'augmentation du parasitisme (Cook et al., 2008)

Le fleurissement des bordures des parcelles peut également jouer un rôle en fournissant des ennemis naturels aux ravageurs (Cook et al., 2018), particulièrement si elles contiennent des brassicacées, plantes hôtes alternatives aux insectes ravageurs. Un taux de parasitisme des larves de méligèthes a été démontré dans les parcelles proches de vieilles bordures fleuries (Thies et al., 1999). Or les mélanges d'espèces composant les bandes fleuries d'ECOFODDSYSTEM ne contiennent aucune espèce de brassicacées. Toutefois, les premières tendances d'un travail réalisé sur l'étude de la biodiversité de l'entomofaune des bandes fleuries de l'essai ECOFODDSYSTEM montre la présence d'éventuels parasitoïdes des principaux ravageurs du colza (Williams, 2010b; Estelle Pignalet, Communication personnelle).

Il est également important de mentionner l'impact de la proportion de champ de colza dans le paysage. En effet, une forte densité de culture de colza dans le paysage permettra une dilution de l'abondance des ravageurs ainsi que leurs effets. Néanmoins, les études sont contradictoires à ce sujet et certaines d'entre elles avancent l'hypothèse de la concentration des ravageurs à l'échelle locale (Schneider et al., 2015). Selon Schneider et al. (2005), la gestion de l'échelle spatiotemporelle est importante en vue de limiter les effets sur le rendement.

6.4.2. Parcelles de betteraves

L'ensemble des parcelles de betteraves a dépassé le seuil d'intervention de 2 pucerons aptères pour 10 plantes. Dans le cas d'une gestion conventionnelle, un traitement phytosanitaire contre les pucerons aurait été réalisé. Les effets de cette absence de traitement pourraient se caractériser par l'apparition de symptômes caractéristiques du virus de la jaunisse grave de la betterave et du virus de la jaunisse modérée de la betterave dont le principal vecteur est le puceron, *Myzus persicae* (Hossain et al., 2021). La présence du BMVYV peut mener à des pertes de l'ordre de 24% de rendement de racines et de 11% pour le BYV. Le rendement en sucre est par conséquent impacté (Hossain et al., 2021) ; le niveau de pertes de rendement au sein des parcelles d'ECOFODDSYSTEM ne pourra être évalué que lors de la récolte. Néanmoins, la présence de bandes fleuries aux abords des blocs pourrait avoir un impact au niveau du parasitisme des pucerons. Ces parcelles fleuries pourraient attirer fortement des parasitoïdes et influencer la présence d'ennemis naturels des pucerons tels que les syrphes (Hatt et al., 2017). La présence d'agroforesterie, par ses potentiels sites d'hivernation, pourrait potentiellement permettre le parasitisme précoce des pucerons (Hatt et al., 2017).

6.4.3. Parcelles de maïs

La très faible présence de pucerons en parcelles de maïs concorde avec les avertissements fournis par le centre indépendant de promotion fourragère (CIPF) (Anon., 2021). Cette faible abondance s'explique par les précipitations de la première quinzaine du mois de juin ainsi que par les orages qui ont freiné l'installation des colonies de pucerons sur les feuilles de maïs. La fréquence des averses jusqu'à la fin du mois de juin a également évité une installation tardive.

Au vu de l'absence de taupins au niveau des pièges, le développement du maïs ne devrait pas être perturbé dans les premiers stades de sa croissance. Néanmoins, il est à noter que les conditions de mise en place des pièges à taupins n'étaient pas les mêmes que celles de l'étude de Furlan (2014). En effet, l'humidité de la couche de sol contenant les pièges ne se trouvait pas à la capacité au champ à chaque relevé. De plus, contrairement à l'étude de Furlan (2014), les pièges n'ont pas été mis en place au niveau d'un sol nu ; ceux-ci étaient donc en compétition avec la culture de maïs implantée dont les racines produisant du CO₂ attirent les larves (Doane et al., 1975). Au vu des conditions expérimentales différentes, il se pourrait que des taupins soient néanmoins présents au sein des parcelles et cela expliquerait les pourcentages de germination inférieurs à 100%.

5.4.7. Parcelles de cameline

Aucun relevé ni piégeage d'insectes n'ont été réalisés dans les parcelles de cameline. Or, une forte présence d'altises et de méligèthes fut constatée lors des observations au champ. Un piégeage aurait pu être réalisé afin de voir si les différences d'abondances concordent avec celles observées dans les parcelles de colza en fonction des différents blocs. En effet, à la mi-mai, les adultes de la première génération de méligèthes sont observés et se déplacent sur les cultures de crucifères suffisamment développés (Bonnemaison, 1962). À la fin de l'hiver, les adultes des altises des crucifères colonisent des crucifères sauvages et cultivées et réalisent des petites morsures circulaires perforantes ou non (CETIOM, 2013). Des attaques d'altises ont été constatées sur l'ensemble des parcelles d'ECOFOODSYSTEM et ce, en grande proportion. Concernant les altises, il est dit que la cameline est relativement moins touchée par ce ravageur grâce à son développement rapide (Bonnemaison, 1962; Berti et al., 2016). Toutefois, les dégâts causés par ceux-ci sont importants. Les faibles pourcentages de levées pourraient être expliqués par ces fortes attaques.

La présence du mildiou de la cameline peut être expliquée par les fréquentes précipitations durant le mois de juin (Vollmann et al., 2001). Une forte incidence de l'infection peut mener à une diminution significative du rendement (Vollmann et al., 2001; Gesch, 2014). Cette diminution dépend du pourcentage de siliques infectées ; lui-même corrélé aux cumuls des précipitations entre le semis et la floraison. La biomasse totale d'adventices pourrait également être un facteur explicatif de la haute incidence du mildiou de la cameline (Leclère et al., 2021).

7. Conclusion et perspectives

Le suivi de l'essai ECOFOODSYSTEM s'est focalisé sur une partie de la première année de saison culturale. En effet, les rendements des différentes cultures ne sont pas encore connus. Pour certaines cultures, certains ravageurs et agents pathogènes n'ont également pas été identifiés et quantifiés au vu de l'arrêt des prises de mesures à des stades précoces de la culture. Néanmoins, un certain nombre d'observations permettent de tirer déjà quelques conclusions avant la récolte.

Du point de vue des bioagresseurs inféodés aux cultures mises en place, la majorité d'entre eux ont été observés au sein des parcelles d'ECOFOODSYSTEM et ce, à des niveaux supérieurs aux seuils d'intervention préconisé par les centres d'avertissement. En situation de gestion conventionnelle, différents traitements phytosanitaires auraient été appliqués. L'absence de traitement aura un impact plus ou moins significatif sur le rendement en fonction de l'abondance de ces bioagresseurs. Néanmoins, différentes mesures pourraient être mises en place à l'échelle du paysage en vue d'améliorer le contrôle biologique des ravageurs. En effet, la gestion des ravageurs nécessite une approche à l'échelle du paysage tenant compte des cultures et l'organisation spatiale des terres agricoles (Petit et al., 2021).

À l'échelle parcellaire, des mesures pourraient être prises en considération afin d'augmenter la biodiversité telle que l'association de différentes espèces ou différents cultivars de l'espèce cultivée (Malézieux et al., 2009). Comme c'est le cas sur la plateforme CA-SYS à Dijon, les systèmes gérés en zéro phyto nécessitent des modifications au niveau des cultures afin de maximiser les processus biologiques. Il s'agit d'implanter des cultures rustiques ou moins sensibles et favoriser les mélanges (Petit et al., 2021). En effet, la mise en place de mélanges culturels favorise la présence d'auxiliaires de cultures et parasitoïdes, par conséquent la réduction des ravageurs de cultures (Deguine et al., 2017). Le sous-semis et les couverts végétaux permettent de favoriser les populations d'ennemis naturels. En effet, la végétation sous-semée bien développée peut leur fournir des conditions environnementales favorables (Holland et al., 2016), tel est le cas des féveroles en parcelles de colza (Petit et al., 2021)

L'aménagement des bordures des champs, tel que la mise en place prévue des haies et bandes messicoles, augmenterait la proportion d'habitats semi-naturels pour de nombreux prédateurs et/ou parasitoïdes (Landis et al., 2000). En effet, les habitats linéaires boisés ont démontré à plusieurs reprises être la raison de la colonisation des champs voisins par des ennemis naturels tendant à diminuer les populations de ravageurs dans les cultures (Holland et al., 2016). Les bordures des parcelles présentent, en général, une plus grande densité d'auxiliaires de cultures. Toutefois, celle-ci dépend de la composition de ces bordures (Petit et al., 2021). La mise en place de cultures pièges, cultivées pour attirer les ravageurs, permettrait de protéger les cultures de rente de ceux-ci ou d'y éviter leur concentration (Hokkanen, 1991; Deguine et al., 2017)

Tous ces aménagements en faveur de la biodiversité doivent être mis en place de façon telle à créer un réseau dense d'habitats semi-naturels permettant une dynamique des populations des auxiliaires de cultures (Petit et al., 2021).

Du point de vue des adventices, il est évident que la densité d'adventices est très hétérogène d'un bloc à l'autre et il en est de même pour la diversité floristique. Les parcelles d'ECOFOODSYSTEM devront donc être gérées de façon à limiter les effets directs et indirects dus à la présence d'adventices. Des pertes de rendements limitées pourraient résulter de cette forte pression en adventices si des méthodes de désherbage mécanique interviennent au moment opportun en ciblant les espèces compétitives. Toutefois, cela n'est pas toujours possible au vu des conditions climatiques et cette augmentation de pression en adventices compliquerait la gestion de celles-ci sur le long terme et la rendrait moins efficace (Adeux et al., 2019).

Des mesures afin de limiter l'émergence et l'abondance d'adventices peuvent être mises en place telle que l'implantation d'un couvert végétal en culture de colza. Toutefois, il faut veiller à ce que celui-ci ne rentre pas en compétition avec la culture de rente. De plus, il faut prendre en considération que la mise en place d'un couvert végétal ne permet pas le passage d'outils de désherbage mécanique. Les couverts végétaux prévus durant les périodes de jachère impacteront également la densité d'adventices.

Pour conclure, l'ensemble des bioagresseurs et les densités d'adventices vont mener à des pertes de rendements plus ou moins considérables. L'analyse des rendements récoltés permettra de déterminer si le système pourra ou non de fournir un régime alimentaire basé sur les recommandations de la commission EAT-Lancet. La mesure du rendement sera un facteur-clé pour déterminer la durabilité et la résilience de cet essai sur le long terme malgré la présence d'insectes ravageurs, adventices et agents pathogènes. Toutefois, il est à noter que les données récoltées sont celles de la première année culturale de ce système de rotations mis en place sur 8 ans. Les abondances de ravageurs et densités d'adventices devront être analysées sur le long terme afin d'étudier l'évolution de celles-ci. Certains équilibres pourraient se mettre en place et certaines évolutions négatives ou positives pourraient se marquer sur le long terme.

8. Contribution personnelle de l'étudiante

Suite à ses recherches bibliographiques, l'étudiante a pris la décision et choisi de suivre certains bioagresseurs dans chaque culture suivant les dégâts occasionnés par ceux-ci et leur impact sur le rendement.

L'élaboration et la mise en place des protocoles de prises de données ont été réalisées par l'étudiante elle-même en prenant en considération les contraintes liées au temps.

L'étudiante a pris soin de réaliser ses prises de données au moment opportun et à intervalles réguliers dans les cas requis.

Une fois les données acquises, l'étudiante a appris à utiliser le logiciel R afin d'y réaliser l'ensemble de ses analyses statistiques.

9. Bibliographie

- (EPPO) Organization European and Mediterranean Plant Protection, 2003. *Ceutorhynchus napi* and *Ceutorhynchus pallidactylus* on rape . *Ceutorhynchus napi* et *Ceutorhynchus pallidactylus* sur colza. *EPPO Bull.* **33**(1), 65–69.
- Abella S.R., Chiquoine L.P. & Vanier C.H., 2013. Characterizing soil seed banks and relationships to plant communities. *Plant Ecol.* **214**(5), 703–715.
- Adeux G., Munier-Jolain N., Meunier D., Farcy P., Carlesi S., Barberi P. & Cordeau S., 2019. Diversified grain-based cropping systems provide long-term weed control while limiting herbicide use and yield losses. *Agron. Sustain. Dev.* **39**(4).
- Alford D. V., Nilsson C. & Ulber B., 2007. Insect Pests of Oilseed Rape Crops. *In: Biocontrol of Oilseed Rape Pests.* Blackwell Science Ltd, 9–42.
- Anon., 2021. CIPF - Evolution des populations de pucerons. <https://cipf.be/fr/avertissements/evolution-populations-pucerons>, (22/07/2021).
- Anon., sd. Exploitations agricoles et horticoles | Statbel. <https://statbel.fgov.be/fr/themes/agriculture-peche/exploitations-agricoles-et-horticoles#figures>, (18/04/2021).
- Anon., sd. Betteraves à sucre – Densité de semis – Semis – Expertises - KWS Benelux B.V. <https://www.kws.com/be/fr/expertise/semis/densite-de-semis/betteraves-a-sucre/>, (22/07/2021).
- Arvalis, 2012. *Diagnostic des accidents du maïs*, Paris.
- Beres P.K., 2015. The occurrence of aphids on sweet maize in south-eastern Poland. *Acta Sci. Pol. Hortorum Cultus* **14**(6), 39–54.
- Berti M., Gesch R., Eynck C., Anderson J. & Cermak S., 2016. Camelina uses, genetics, genomics, production, and management. *Ind. Crops Prod.* **94**, 690–710.
- Bonnemaison L., 1962. *Les ennemis animaux des plantes cultivées et des forêts*.
- Boyardieu J., 1991. *Produire des grains oléagineux et protéagineux*. Lavoisier ed.
- Cartrysse C., 2021. CePiCOP Colza 11.05.2021. <https://centrespilotes.be/cp/cepiscop/oleagineux/avertissements/207>, (30/07/2021).
- Cartrysse C. & De Proft M., 2021a. CePiCOP Colza 30.03.2021. <https://centrespilotes.be/cp/cepiscop/oleagineux/avertissements/194>, (07/08/2021).
- Cartrysse C. & De Proft M., 2021b. CePiCOP Colza 02.03.2021. <https://centrespilotes.be/cp/cepiscop/oleagineux/avertissements/184>, (07/08/2021).
- CePiCOP, 2019. Variétés de colza d’hiver.
- CETIOM, 1997. *Les points techniques du CETIOM - Les ravageurs du colza d’hiver*.
- CETIOM, 2008. *Les maladies du colza*.
- CETIOM, 2013. *Les insectes du colza*.
- Chauvel B., Darmency H., Munier-Jolain N. & Rodriguez A., 2018. *Gestion durable de la flore adventice des cultures*, 350.
- CIPF, 2020. CIPF - Noctuelle. <https://cipf.be/fr/mais/ravageurs/noctuelle>, (10/08/2021).
- Colbach N. & Cordeau S., 2018. Reduced herbicide use does not increase crop yield loss if it is compensated by alternative preventive and curative measures. *Eur. J. Agron.* **94**(February), 67–78.

- Commission européenne, sd. Sustainable use of pesticides.
https://ec.europa.eu/food/plant/pesticides/sustainable_use_pesticides_en, (30/03/2021).
- Commission européenne, sd. Integrated Pest Management (IPM).
https://ec.europa.eu/food/plant/pesticides/sustainable_use_pesticides/ipm_en, (30/03/2021).
- Contextual Elements : Physical Environment : Temperature, 2017. .
http://etat.environnement.wallonie.be/files/Publications/SOERW2017/SOERW2017_Page17.pdf, (15/02/2021).
- Contextual elements: Physical environment: Rainfall, 2017. .
http://etat.environnement.wallonie.be/files/Publications/SOERW2017/SOERW2017_Page16.pdf, (15/02/2021).
- Cook S. & Denhom I., 2008. Ecological approaches to the control of pollen beetles in oilseed rape. *EPPO Bull.* **38**(1), 110–113.
- Cook S. & Skellern M., 2018. Prospects for improved off-crop habitat management for pollen beetle control in oilseed rape. *Arthropod. Plant. Interact.* **12**(6), 849–886.
- Cook S., Watts N., Hunter F., Smart L. & Williams I.H., 2004. Effect of a turnip rape trap crop on the spatula distribution of *Meligethes aeneus* and *Ceutorhynchus assimilis* in oilseed rape. *IOBC/wprs Bull.* **27**(10).
- Cordeau S., Dessaint F., Denieul C., Bonin L., Vuillemin F., Delattre M., Rodriguez A., Guillemain J.P. & Chauvel B., 2016. La nuisibilité directe des adventices en grandes cultures: Quelles réponses nous apportent les essais de désherbage? In: *23e Conférence Du Columa, Journées Internationales Sur La Lutte Contre Les Mauvaises Herbes*.
- Cordeau S., Guillemain J.P., Reibel C. & Chauvel B., 2015. Weed species differ in their ability to emerge in no-till systems that include cover crops. *Ann. Appl. Biol.* **166**(3), 444–455.
- Cristea S. & Manole M.S., 2014. Downy mildew (*Peronospora camelinae* Gaum.syn. *Peronospora parasitica* (Pers. Tul) - first recorded on camelina (*Camelina sativa*) in Bucharest area. *Rom. Biotechnol. Lett.* **19**(2), 9280–9282.
- De Clerck C., Dumont B. & Bindelle J., 2021. Investigating the ability of crop rotations to supply contrasting eating patterns in order to reconnect local food production and consumption through model-based optimization. *submitted*.
- Deguine J.P., Gloanec C., Laurent P., Ratnadass A. & Aubertot J.N., 2017. *Agroecological crop protection*.
- Diepenbrock W., 2000. Yield analysis of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.): A review. *F. Crop. Res.* **67**(1), 35–49.
- Doane J.F., Lee Y.W., Westcott N.D. & Klingler J., 1975. The orientation response of ctenicera destructor and other wire worms (coleoptera: Elateridae) to germinating grain and to carbon dioxide. *Can. Entomol.* **107**(12), 1233–1252.
- Espeland E.K., Perkins L.B. & Leger E.A., 2010. Comparison of seed bank estimation techniques using six weed species in two soil types. *Rangel. Ecol. Manag.* **63**(2), 243–247.
- Eynck C., Gugel R.K., Strelkov S.E., Olivier C.Y., Li J.L., Borhan H., Caldwell C.D. & Falk K.C., 2009. Diseases of *Camelina sativa* (false flax). *Can. J. Plant Pathol.* **31**, 375–386.
- FAO, 2011. L'état des ressources en terres et en eau pour l'alimentation et l'agriculture dans le monde: Gérer les systèmes en danger.
- FAO, 2020. *The State of Food Security and Nutrition in the World*, IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 320.

- Fisk J.W., Hesterman O.B., Shrestha A., Kells J.J., Hardwood R.R., Squire J.M. & Sheaffer C.C., 2001. Weed suppression by annual legume cover crops in no-tillage corn. *Agron. J.* **93**, 319–325.
- Free J.B. & Williams E.H., 1978. A survey of the damage caused to crops of oil-seed rape (*Brassica napus* L.) by insect pests in south-central England and their effect on seed yield. *J. Agric. Sci.* **90**(2), 417–424.
- Furlan L., 2014. IPM thresholds for *Agriotes* wireworm species in maize in Southern Europe. *J. Pest Sci. (2004)*. **87**(4), 609–617.
- Gesch R.W., 2014. Influence of genotype and sowing date on camelina growth and yield in the north central U.S. *Ind. Crops Prod.* **54**, 209–215.
- Ghandorah M.O., El-Rouby M.M., Al-Saad F.A. & Al-Derfasi A.A., 1988. Effects of Shading Densities on the Agronomic and Physiological Characters of Two Sugarbeet Cultivars. *J. Agron. Crop Sci.* **161**(2), 114–122.
- Gotlin Čuljak T., Pernar R., Juran I., Ančić M. & Bažok R., 2016. Impact of oilseed rape crop management systems on the spatial distribution of *Brassicoglyphus aeneus* (Fabricius 1775): Implications for integrated pest management. *Crop Prot.* **89**, 129–138.
- Gould H.J., 1975. Surveys of pest incidence on oil-seed rape in south central England. *Ann. Appl. Biol.* **79**(1), 19–26.
- Hansen L.M., 2003. A model for determination of the numbers of pollen beetles (*Meligethes aeneus* F.) (Col., Nitidulidae) per plant in oil-seed rape crops (*Brassica napus* L.) by estimating the percentage of plants attacked by pollen beetles. *J. Appl. Entomol.* **127**(3), 163–166.
- Hatt S., Mouchon P., Lopes T. & Francis F., 2017. Effects of wildflower strips and an adjacent forest on aphids and their natural enemies in a pea field. *Insects* **8**(3), 1–9.
- Heisel T., Andreasen C. & Christensen S., 2002. Sugarbeet yield response to competition from *Sinapis arvensis* or *Lolium perenne* growing at three different distances from the beet and removed at various times during early growth. *Weed Res.* **42**(5), 406–413.
- Hermann O. & Wauters A., 2002. Ravageurs et maladies en culture de betterave sucrière belge.
- Hokkanen H.M.T., 1991. Trap cropping in pest management. *Annu. Rev. Entomolgy* **36**, 119–138.
- Holland J.M., Bianchi F.J., Entling M.H., Moonen A.C., Smith B.M. & Jeanneret P., 2016. Structure, function and management of semi-natural habitats for conservation biological control: a review of European studies. *Pest Manag. Sci.* **72**(9), 1638–1651.
- Hossain R., Menzel W., Lachmann C. & Varrelmann M., 2021. New insights into virus yellows distribution in Europe and effects of beet yellows virus, beet mild yellowing virus, and beet chlorosis virus on sugar beet yield following field inoculation. *Plant Pathol.* **70**(3), 584–593.
- IFPRI, 2017. Global Food Policy Report.
- KBIV-IRBAB, 2020. Techniques culturales betteravières: FAR-memo 2021.
- Kelm M. & Klukowski Z., 2000. *Weather as a factor determining damage caused by oilseed rape pests*, IOBC Wprs Bulletin, 119–124.
- Lancashire P.D., Bleiholder H., Boom T. Van Den, Langelüddeke P., Stauss R., Weber E. & Witzemberger A., 1991. A uniform decimal code for growth stages of crops and weeds. *Ann. Appl. Biol.* **119**(3), 561–601.
- Landis D.A., Wratten S.D. & Gurr G.M., 2000. Habitat management to conserve natural enemies of arthropod pests in agriculture. *Annu. Rev. Entomol* **45**, 175–201.
- Leclère M., Lorent A.R., Jeuffroy M.H., Butier A., Chatain C. & Loyce C., 2021. Diagnosis of

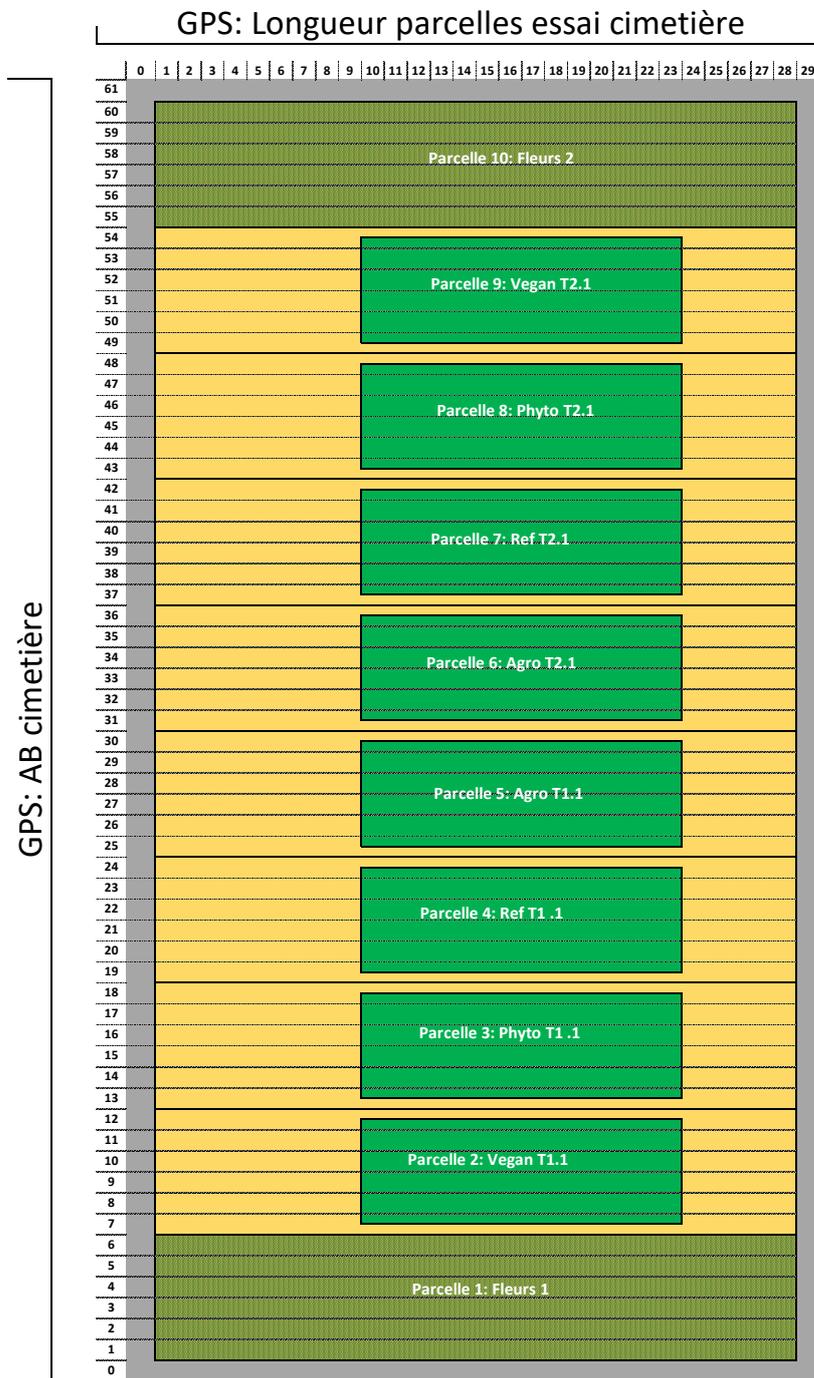
- camelina seed yield and quality across an on-farm experimental network. *Eur. J. Agron.* **122**.
- Lehnhoff E., Miller Z., Miller P., Johnson S., Scott T., Hatfield P. & Menalled F.D., 2017. Organic agriculture and the quest for the holy grail in water-limited ecosystems: Managing weeds and reducing tillage intensity. *Agric.* **7**(4).
- Lemic D., Drmić Z. & Bažok R., 2016. Population dynamics of noctuid moths and damage forecasting in sugar beet. *Agric. For. Entomol.* **18**(2), 128–136.
- Lorin M., Jeuffroy M.H., Butier A. & Valantin-Morison M., 2015. Undersowing winter oilseed rape with frost-sensitive legume living mulches to improve weed control. *Eur. J. Agron.* **71**, 96–105.
- Mahé I., Cordeau S., Bohan D.A., Derrouch D., Dessaint F., Millot D. & Chauvel B., 2021. Soil seedbank: Old methods for new challenges in agroecology? *Ann. Appl. Biol.* **178**(1), 23–38.
- Malézieux E., Crozat Y., Dupraz C., Laurans M., Makowski D., Ozier-Lafontaine H., Rapidel B., Tournonnet S. de & Valantin-Morison M., 2009. Mixing plant species in cropping systems: concepts, tools and models. A review. *Agron. Sustain. Dev.* **29**(1), 43–62.
- Mamarot J. & Rodriguez A., 2011. *Mauvaises herbes des cultures*. ACTA ed., Paris, 1–567.
- Martin K. & Sauerborn J., 2013. *Agroecology*, 330.
- Martinelli T. & Galasso I., 2011. Phenological growth stages of *Camelina sativa* according to the extended BBCH scale. *Ann. Appl. Biol.* **158**(1), 87–94.
- Mauchline A.L., Cook S.M., Powell W., Chapman J.W. & Osborne J.L., 2017. Migratory flight behaviour of the pollen beetle *Meligethes aeneus*. *Pest Manag. Sci.* **73**(6), 1076–1082.
- McKenzie S.C., Goosey H.B., O'Neill K.M. & Menalled F.D., 2016. Impact of integrated sheep grazing for cover crop termination on weed and ground beetle (Coleoptera:Carabidae) communities. *Agric. Ecosyst. Environ.* **218**, 141–149.
- Meier U., Bachmann L., Buhtz E., Hack H., Klose R., Märlander B. & Weber E., 1993. Phanologische Entwicklungsstadien der Beta-Ruben (*Beta vulgaris* L. ssp.). *Nachrichtenblatt deut. Pflanzenschutzd.* **45**(2), 37–41.
- Milovac Ž., Zorić M., Franeta F., Terzić S., Petrović Obradović O. & Marjanović Jeromela A., 2017. Analysis of oilseed rape stem weevil chemical control using a damage rating scale. *Pest Manag. Sci.* **73**(9), 1962–1971.
- Moule C., 1982. *Phytotechnie spéciale. Vol.3, Plantes sarclées et diverses*, Paris: Maison Rustique.
- Nicolas T., 2021. Etude de l'impact du pâturage par des ovins sur la végétation durant une culture intermédiaire piège à nitrates mixte, dans un système intégré culture-élevage.
- Oerke E.C., 2006. Crop losses to pests. *J. Agric. Sci.* **144**(1), 31–43.
- ONU, 2019. *World population prospects 2019*, Department of Economic and Social Affairs. World Population Prospects 2019.
- Peel M.C., Finlayson B.L. & McMahon T.A., 2007. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* **11**, 1633–1644.
- Petit S., Cordeau S., Chauvel B., Bohan D., Guillemain J.P. & Steinberg C., 2018. Biodiversity-based options for arable weed management. A review. *Agron. Sustain. Dev.* **38**(5).
- Petit S., Deytieux V. & Cordeau S., 2021. Landscape-scale approaches for enhancing biological pest control in agricultural systems. *Environ. Monit. Assess.* **193**.
- Petratiene E. & Šmatas R., 2008. The spread of pollen beetles (*Meligethes aeneus*) in spring oilseed rape (*Brassica napus*) and the efficacy of pyrethroids. *Zemdirbyste-Agriculture* **95**(3), 344–352.

- Pike D.R., Stoller E.W., Wax L.M. & Mn L., 1990. Modeling Soybean Growth and Canopy Apportionment in Weed-Soybean (Glycine max) Competition Modeling Soybean Growth and Canopy Apportionment in Weed-Soybean (Glycine max) Competition1. *Source Weed Sci.* **38**(6), 11.
- Psota V. & Hula V., 2008. Effects of european corn borer control on aphids and theirs natural enemies in maize stands. *Acta Univ. Agric. Silv. Mendeliana Brun.* **56**(1), 149–156.
- Putnam M.L., Serdani M., Ehrensing D. & Curtis M., 2009. Camelina Infected by Downy Mildew (Hyaloperonospora cameliniae) in the Western United States: A First Report. *Plant Heal. Prog.* **10**(1), 40.
- Schneider G., Krauss J., Riedinger V., Holzschuh A. & Steffan-Dewenter I., 2015. Biological pest control and yields depend on spatial and temporal crop cover dynamics. *J. Appl. Ecol.* **52**(5), 1283–1292.
- Seimandi-Corda G., Jenkins T. & Cook S.M., 2021. Sampling pollen beetle (Brassicogethes aeneus) pressure in oilseed rape: which method is best? *Pest Manag. Sci.* **77**(6), 2785–2794.
- Séverin H., Roel U., Thomas L., Pierre M., Julian C., Julien P., Arnaud M. & Frédéric F., 2017. Do flower mixtures with high functional diversity enhance aphid predators in wildflower strips? *Eur. J. Entomol.* **114**, 66–76.
- Soltner D., 2005. *Les grandes productions végétales: phytotechnie spéciale: céréales, plantes sarclées, prairies.* Sciences et Techniques Agricoles ed., Sainte-Gemmes-sur-Loire.
- Spitzer T., Matušinský P., Spitzerová D., Bílovský J. & Kazda J., 2014. Effect of flight activity of stem weevils (Ceutorhynchus napi, C. pallidactylus) and application time on insecticide efficacy and yield of winter oilseed rape. *Plant Prot. Sci.* **50**(3), 129–134.
- Thies C. & Tscharnkte T., 1999. Landscape Structure and Biological Control in Agroecosystems. *Science (80-.).* **285**(6), 893–895.
- Tracy B.F. & Davis A.S., 2009. Weed biomass and species composition as affected by an integrated crop-livestock system. *Crop Sci.* **49**(4), 1523–1530.
- Ulmer B.J. & Dossall L.M., 2006. Spring Emergence Biology of the Cabbage Seedpod Weevil (Coleoptera: Curculionidae). *Ann. Entomol. Soc. Am.* **99**(1), 64–69.
- UNICEF/WHO/World Bank Group, 2017. Levels and trends in child malnutrition.
- United Nations, sd. Goal 2: Zero hunger | UNDP.
<https://www.undp.org/content/undp/en/home/sustainable-development-goals/goal-2-zero-hunger.html>, (15/02/2021).
- Vollmann J., Steinkellner S. & Glauning J., 2001. Variation in Resistance of Camelina (Camelina sativa [L.] Cz. & C. to Downy Mildew (Peronospora cameliniae G. & M.). *J. Phytopathol.* **149**(3–4), 129–133.
- WalOnMap, sd. WalOnMap | Géoportail de la Wallonie.
<https://geoportail.wallonie.be/walonmap#BBOX=173661.01591170955,175268.36287640347,139363.40155661825,139983.8507141832>, (19/07/2021).
- Weber E. & Bleiholder H., 1990. Explanations of the BBCH decimal codes for the growth stages of maize, rape, faba beans, sunflowers and peas - with illustrations. *Gesunde Pflanz.* **42**(9), 308–321.
- Weston L.A., Duke S.O. & Weller S., 2003. Weed and Crop Allelopathy. *CRC. Crit. Rev. Plant Sci.* **22**(4), 367–389.

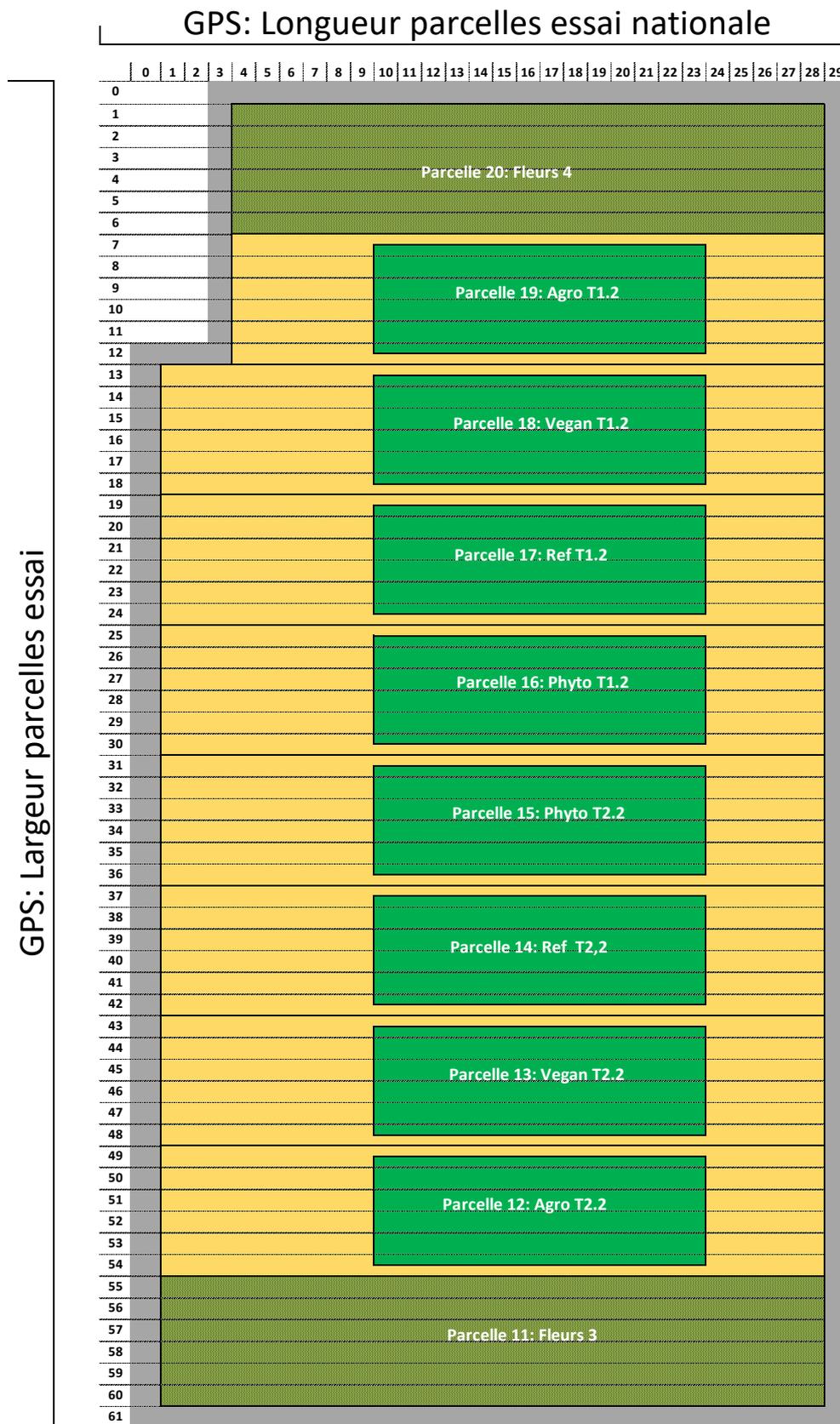
- Willett W., Rockström J., Loken B., Springmann M., Lang T., Vermeulen S., Garnett T., Tilman D., DeClerck F., Wood A., Jonell M., Clark M., Gordon L.J., Fanzo J., Hawkes C., Zurayk R., Rivera J.A., De Vries W., Majele Sibanda L., Afshin A., Chaudhary A., Herrero M., Agustina R., Branca F., Lartey A., Fan S., Crona B., Fox E., Bignet V., Troell M., Lindahl T., Singh S., Cornell S.E., Srinath Reddy K., Narain S., Nishtar S. & Murray C.J.L., 2019. Food in the Anthropocene: the EAT–Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems. *Lancet* **393**, 447–492.
- Williams I.H., 2010a. The major insect pests of oilseed rape in Europe and their management: An overview. *In: Biocontrol-Based Integrated Management of Oilseed Rape Pests*. Springer Netherlands, 1–43.
- Williams I.H., 2010b. *Biocontrol-based integrated management of oilseed rape pests*, 283.
- Zaller J.G., Moser D., Drapela T., Schmöger C. & Frank T., 2008. Insect pests in winter oilseed rape affected by field and landscape characteristics. *Basic Appl. Ecol.* **9**(6), 682–690.
- Zanetti F., Alberghini B., Marjanovi A., Grahovac N., Rajkovi D., Kiproviski B. & Monti A., 2021. Camelina , an ancient oilseed crop actively contributing to the rural renaissance in Europe . A review. *Agron. Sustain. Dev.* **41**(2).
- Zanetti F., Eynck C., Christou M., Krzy M., Righini D., Alexopoulou E., Stolarski M.J., Loo E.N. Van, Puttick D. & Monti A., 2017. Agronomic performance and seed quality attributes of Camelina (*Camelina sativa* L . crantz) in multi-environment trials across Europe and Canada. *Ind. Crops Prod.* **107**(June), 602–608.
- Zhang J., Hamill A.S., Gardiner I.O. & Weaver S.E., 1998. Dependence of weed flora on the active soil seedbank. *Weed Res.* **38**(2), 143–152.
- Zubr J., 1997. Oil-seed crop : Camelina sativa. *Ind. Crops Prod.* **6**, 113–119.

10. Annexes

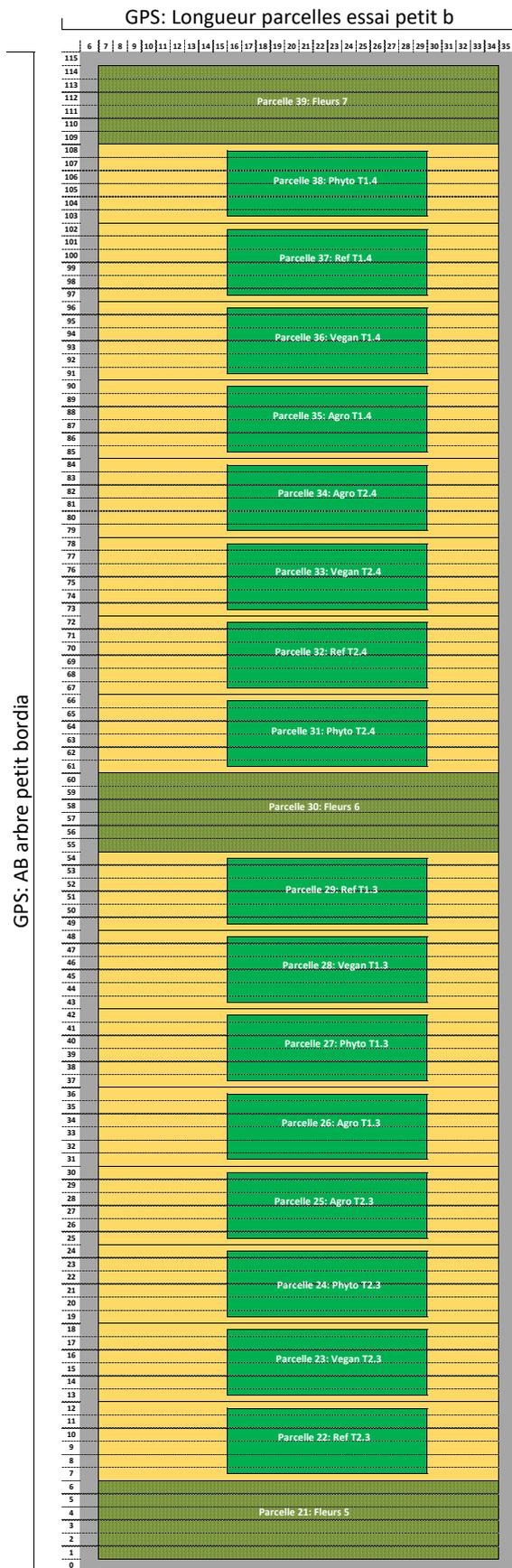
Annexe 1: Plan du dispositif expérimental du bloc 1



Annexe 2: Plan du dispositif expérimental du bloc 2



Annexe 3: Plan du dispositif expérimental des blocs 3 et 4



Annexe 4: Echelle BBCH de la culture de colza

Colza Weber und Bleiholder, 1990; Lancashire et al., 1991

Échelle BBCH des stades phénologiques du colza (*Brassica napus* L. ssp. *napus*)

Code	Définition
Stade principal 0: germination	
00	graine sèche
01	début de l'imbibition de la graine
03	imbibition complète
05	la radicule sort de la graine
07	hypocotyle et cotylédons sortent de la graine
08	hypocotyle et cotylédons se dirigent vers la surface du sol
09	levée: hypocotyle et cotylédons percent la surface du sol
Stade principal 1: développement des feuilles¹	
10	cotylédons complètement étalés
11	première feuille étalée
12	2 feuilles étalées
13	3 feuilles étalées
1 .	et ainsi de suite ...
19	9 ou davantage de feuilles étalées ou fin de la formation de la rosette
Stade principal 2: formation de pousses latérales	
20	pas de pousses latérales
21	début du développement de pousses latérales: première pousse latérale discernable
22	2 pousses latérales discernables
23	3 pousses latérales discernables
2 .	et ainsi de suite ...
29	fin du développement des pousses latérales, 9 ou davantage de pousses latérales
Stade principal 3: élongation de la tige principale²	
30	début de l'élongation de la tige principale: pas d'entre-nœuds («rosette»)
31	l'élongation du premier entre-nœud est visible
32	2 entre-nœuds visibles
33	3 entre-nœuds visibles
3 .	et ainsi de suite ...
39	9 ou davantage d'entre-nœuds visibles

¹ L'élongation de la tige principale peut intervenir avant le stade 19, dans ce cas continuez avec le stade 20

² Pour le colza l'entre-nœud n se situe entre la feuille n et la feuille n+1

Colza Weber und Bleiholder, 1990; Lancashire et al., 1991

Échelle BBCH des stades phénologiques du colza

Code	Définition
Stade principal 5: apparition de l'inflorescence	
50	les boutons floraux sont formés mais toujours enveloppés par des feuilles
51	les boutons floraux sont visibles depuis le haut («bouton étoilé»)
52	les boutons floraux sont libres et au même niveau que les plus jeunes feuilles
53	les boutons floraux dépassent les plus jeunes feuilles
55	les boutons floraux de l'inflorescence principale sont individuellement visibles mais fermés
57	les boutons floraux des inflorescences secondaires sont individuellement visibles mais toujours fermés
59	les premiers pétales sont visibles mais les fleurs sont toujours fermés, («bouton jaune»)
Stade principal 6: la floraison	
60	les premières fleurs sont ouvertes
61	10% des fleurs de la grappe principale sont ouvertes, élongation de la grappe principale
62	20% des fleurs de la grappe principale sont ouvertes
63	30% des fleurs de la grappe principale sont ouvertes
64	40% des fleurs de la grappe principale sont ouvertes
65	pleine floraison: 50% des fleurs de la grappe principale sont ouvertes, les premiers pétales tombent
67	la floraison s'achève: la plupart des pétales sont tombés
69	fin de la floraison
Stade principal 7: développement du fruit	
71	10% des siliques ont atteint leur taille finale
72	20% des siliques ont atteint leur taille finale
73	30% des siliques ont atteint leur taille finale
74	40% des siliques ont atteint leur taille finale
75	50% des siliques ont atteint leur taille finale
76	60% des siliques ont atteint leur taille finale
77	70% des siliques ont atteint leur taille finale
78	80% des siliques ont atteint leur taille finale
79	presque toutes les siliques ont atteint leur taille finale

Colza Weber und Bleiholder, 1990; Lancashire et al., 1991

Échelle BBCH des stades phénologiques du colza

Code	Définition
Stade principal 8: maturation des fruits et graines	
80	début de la maturation: les graines sont vertes et remplissent les siliques
81	10% des siliques sont à maturité, les graines sont noires et dures
82	20% des siliques sont à maturité, les graines sont noires et dures
83	30% des siliques sont à maturité, les graines sont noires et dures
84	40% des siliques sont à maturité, les graines sont noires et dures
85	50% des siliques sont à maturité, les graines sont noires et dures
86	60% des siliques sont à maturité, les graines sont noires et dures
87	70% des siliques sont à maturité, les graines sont noires et dures
88	80% des siliques sont à maturité, les graines sont noires et dures
89	maturation complète: presque toutes les siliques sont à maturité, les graines sont noires et dures
Stade principal 9: sénescence	
97	plante desséchée et morte
99	produit après récolte

Annexe 5: Echelle BBCH de la betterave

Betterave Meier et al., 1993

Échelle BBCH des stades phénologiques de la betterave (*Beta vulgaris* L. ssp. *vulgaris*)

Code	Définition
Stade principal 0: germination / développement de la jeune plante	
00	graine sèche
01	début de l'imbibition: la graine commence à accumuler de l'eau
03	imbibition complète (les téguments de la graine se fendent)
05	la radicule sort de la graine
07	la jeune pousse sort de la graine
09	levée: la jeune pousse perce la surface du sol
Stade principal 1: développement des feuilles (stade juvénile)	
10	les cotylédons sont étalés horizontalement, la première feuille est visible (grandeur de la tête d'une épingle)
11	la première paire de feuilles est visible: non étalées et de la grandeur d'un petit pois
12	2 feuilles (première paire de feuilles) étalées
14	4 feuilles (deux paires de feuilles) étalées
15	5 feuilles étalées
1 .	et ainsi de suite ...
19	9 ou davantage de feuilles étalées (couvrant 10–15% de l'interrang)
Stade principal 3: croissance de la rosette (recouvrement du sol par la culture)	
31	début du recouvrement de l'interrang: 10% des plantes des lignes adjacentes se touchent
32	20% des plantes des lignes adjacentes se touchent
33	30% des plantes des lignes adjacentes se touchent
34	40% des plantes des lignes adjacentes se touchent
35	50% des plantes des lignes adjacentes se touchent
36	60% des plantes des lignes adjacentes se touchent
37	70% des plantes des lignes adjacentes se touchent
38	80% des plantes des lignes adjacentes se touchent
39	fermeture des lignes: environ 90% des plantes des lignes adjacentes se touchent
Stade principal 4: développement des parties végétatives de récolte - la racine de la betterave	
49	la racine de la betterave atteint sa taille de récolte

Betterave Meier et al., 1993

Échelle BBCH des stades phénologiques de la betterave

Code	Définition
Stade principal 5: apparition de l'inflorescence (deuxième année de croissance)	
51	début de l'élongation de la tige principale
52	la tige principale atteint une longueur de 20 cm
53	sur la tige principale les futurs points d'insertion des pousses latérales sont visibles
54	les pousses latérales sont clairement visibles sur la tige principale
55	les premiers boutons floraux sont visibles sur les pousses latérales
59	les premières bractées sont visibles; les boutons floraux sont toujours fermés
Stade principal 6: la floraison	
60	les premières fleurs des inflorescences inférieures sont ouvertes
61	début de la floraison: 10% des fleurs sont ouvertes
62	20% des fleurs sont ouvertes
63	30% des fleurs sont ouvertes
64	40% des fleurs sont ouvertes
65	pleine floraison: 50% des fleurs sont ouvertes
67	la floraison s'achève: 70% des fleurs sont ouvertes ou desséchées
69	fin de la floraison: toutes les fleurs sont desséchées, l'ébauche du fruit est visible
Stade principal 7: développement du fruit	
71	début du développement des fruits: les akènes sont visibles sur l'infrutescence
75	péricarpe vert: le fruit est encore modulable, le péricarpe est laiteux et les téguments de la graine sont beiges
Stade principal 8: maturation	
81	début de la maturation: le péricarpe est vert à brun, les téguments de la graine sont brun clair
85	le péricarpe est brun clair, les téguments de la graine sont bruns à rougeâtres
87	le péricarpe est dur, les téguments de la graine sont brun foncé
89	maturation complète: les téguments de la graine ont leur couleur finale (spécifique pour chaque espèce et variété), le péricarpe est dur
Stade principal 9: sénescence	
91	début de la décoloration des feuilles
93	la plupart des feuilles sont jaunâtres
95	50% des feuilles sont brunâtres
97	les feuilles sont mortes
99	produit après récolte

Annexe 6: Echelle BBCH du maïs

Maïs Weber und Bleiholder, 1990; Lancashire et al., 1991

Echelle BBCH des stades phénologiques du maïs (*Zea mays* L.)

Code	Définition
Stade principal 0: germination, levée	
00	semence sèche (caryopse sec)
01	début de l'imbibition de la graine
03	imbibition complète
05	la radicule sort de la graine
06	élongation de la radicule, apparition de poils absorbants et développement des racines secondaires
07	le coléoptile sort de la graine
09	levée: le coléoptile perce la surface du sol
Stade principal 1: développement des feuilles^{1,2}	
10	la première feuille sort du coléoptile
11	première feuille étalée
12	2 feuilles étalées
13	3 feuilles étalées
1 .	et ainsi de suite ...
19	9 ou davantage de feuilles étalées
Stade principal 3: élongation de la tige principale³	
30	début de l'élongation de la tige principale
31	le premier nœud est discernable
32	2 nœuds sont discernables
33	3 nœuds sont discernables
3 .	et ainsi de suite ...
39	9 ou davantage de nœuds sont discernables
Stade principal 5: sortie de l'inflorescence ou épilaison	
51	l'inflorescence terminale (panicule M) commence à sortir, elle est discernable à l'extrémité de la tige principale
53	extrémité de la panicule terminale visible
55	50% de la panicule terminale visible, les rameaux de la panicule commencent à s'écarter
59	la panicule terminale est complètement sortie et les rameaux de la panicule sont étalés

¹ Une feuille est étalée si sa ligule est visible ou si l'extrémité de la prochaine feuille est visible

² Le tallage ou l'élongation de la tige principale peut intervenir avant le stade 19, dans ce cas continuez avec le stade de développement principal 3

³ Pour le maïs l'inflorescence terminale peut apparaître avant le stade 30, dans ce cas continuez avec le stade de développement principal 5

Maïs Weber und Bleiholder, 1990; Lancashire et al., 1991

Echelle BBCH des stades phénologiques du maïs

Code	Définition
Stade principal 6: floraison, anthèse	
61	M: étamines visibles au milieu de la panicule, F: extrémité de l'épi sort de la gaine
63	M: début de l'émission du pollen, F: extrémité des stigmates visibles
65	M: partie supérieure et inférieure de la panicule en fleurs, F: stigmates à maturité
67	M: la floraison s'achève, F: les stigmates se dessèchent
69	fin floraison, les stigmates sont complètement desséchés
Stade principal 7: développement des graines	
71	début du développement des graines, stade aqueux des graines, environ 16% de matière sèche
73	début du stade laiteux
75	les graines au milieu de l'épi sont jaunâtres, le contenu est laiteux, environ 40% de matière sèche
79	presque toutes les graines ont atteint leur taille finale
Stade principal 8: maturation des graines	
83	début du stade pâteux: contenu des graines tendre, environ 45% de matière sèche
85	stade pâteux: graines jaunâtres à jaunes, environ 55% de matière sèche
87	maturité physiologique: à la base des graines un point noir est visible, environ 60% de matière sèche
89	maturité complète: les graines sont dures et brillantes, environ 65% matière sèche
Stade principal 9: sénescence	
97	la plante meurt et s'affaisse
99	produit après récolte

Annexe 7: Echelle BBCH de la cameline

Table 1 Description of the phenological growth stages of *Camelina sativa* according to the extended BBCH scale

BBCH code		Description
Two-digit	Three-digit	
Principal growth stage 0: germination		
00	000	Dry seed
01	001	Initiation of seed imbibition
03	003	Seed imbibition completed
05	005	Radicle emergence from seed
07	007	Emergence of hypocotyl with cotyledons from the seed
08	008	Hypocotyl with cotyledons growing towards soil surface
09	009	Emergence of cotyledons through soil surface
Principal growth stage 1: leaf development		
10	100	Cotyledons (node 0) unfolded (Fig. 1)
11	101	Pair of true leaves on the first node developed (i.e. longer than 1 cm; Fig. 1)
12	102	Single true leaf on the second node developed
13	103	Single true leaf on the third node developed
14	104	Single true leaf on the fourth node developed
15	105	Single true leaf on the fifth node developed (refer to Fig. 1)
16	106	Single true leaf on the sixth node developed
17	107	Single true leaf on the seventh node developed
18	108	Single true leaf on the eighth node developed (refer to Fig. 1)
19	109	Single true leaf on the ninth node developed
	110	Single true leaf on the 10th node developed
	11.	Coding continues with the same scheme up until stage 119
	119	Single true leaf on the 19th node or subsequent developed
Principal growth stage 2: formation of side shoots ^a		
21	201	One side shoot visible
22	202	Two side shoots visible
2.	20.	Coding continues with the same scheme up until stage 29 (209)
29	209	Nine or more side shoots visible
	21.	Coding continues with the same scheme up until stage 219
	219	Nineteen or more side shoots visible
Principal growth stage 3: main stem elongation		
31	301	Stem 10% of the final length
32	302	Stem 20% of the final length
3.	30.	Coding continues with the same scheme up until stage 39 (309)
39	309	Maximum stem length
Principal growth stage 4: development of harvestable vegetative parts ^b		
Omitted		
Principal growth stage 5: inflorescence emergence (main shoot)		
50	500	Inflorescence present but still enclosed by leaves
51	501	Inflorescence visible from above
55	505	Individual flower buds visible but still closed (Fig. 1)
59	509	First petals visible outside the sepals but all flowers still closed
Principal growth stage 6: flowering (main shoot)		
60	600	First flowers open
61	601	10% of flowers open (main raceme elongating)
62	602	20% of flowers open (Fig. 1)
63	603	30% of flowers open, first petals may be fallen or dry
64	604	40% of flowers open
65	605	Full flowering: 50% of flowers open
67	607	Flowering finishing: majority of petals fallen or dry
69	609	End of flowering: fruit set visible
Principal growth stage 7: development of fruit (main shoot)		
71	701	10% of the siliques have reached the final size
72	702	20% of the siliques have reached the final size (Fig. 1)

Annexe 8: Illustrations de la présence d'adventices en parcelles de betteraves

Parcelle zéro phyto à droite et parcelle phyto à gauche avant le passage de la bineuse



Parcelle zéro phyto à droite et parcelle phyto à gauche avant différences de colorations du feuillage



Annexe 9: Illustration de la présence d'agrostis jouet-du vent au niveau du bloc 1

Droite: Parcelle phyto

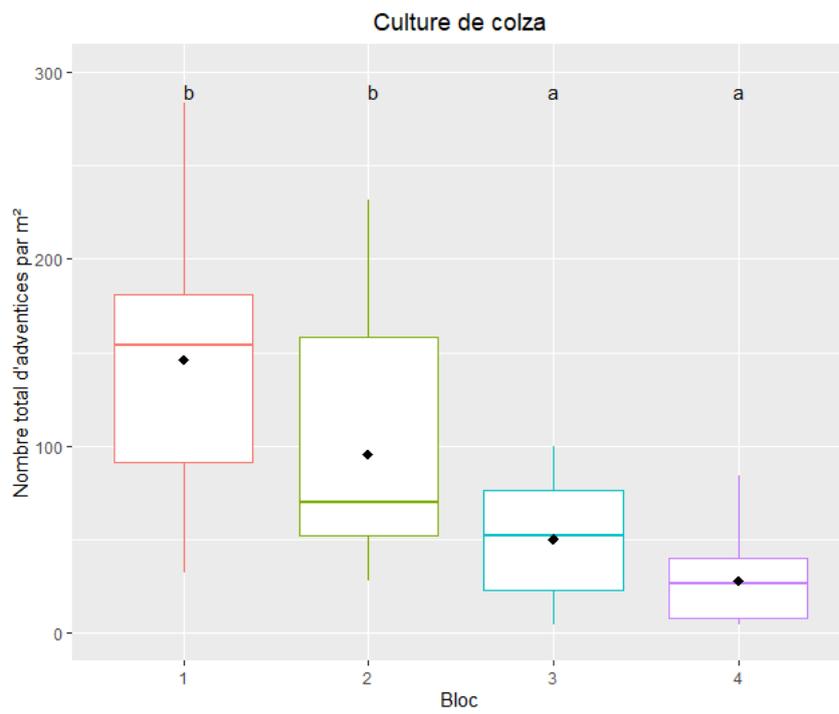
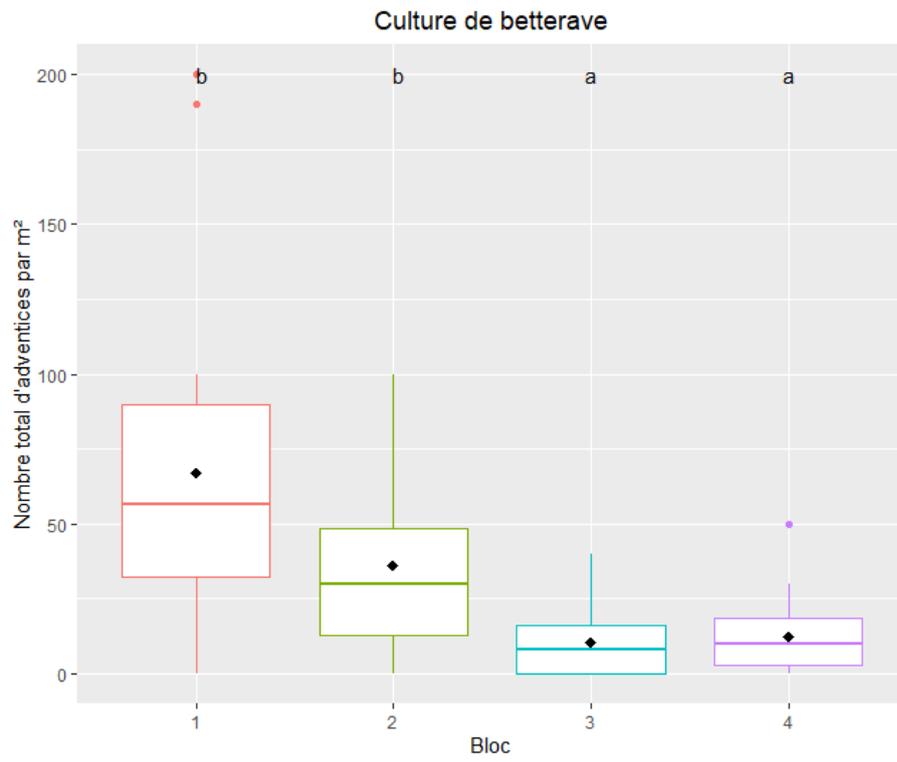
Gauche: Parcelle zéro phyto avec forte abondance d'agrostis jouet-du-vent

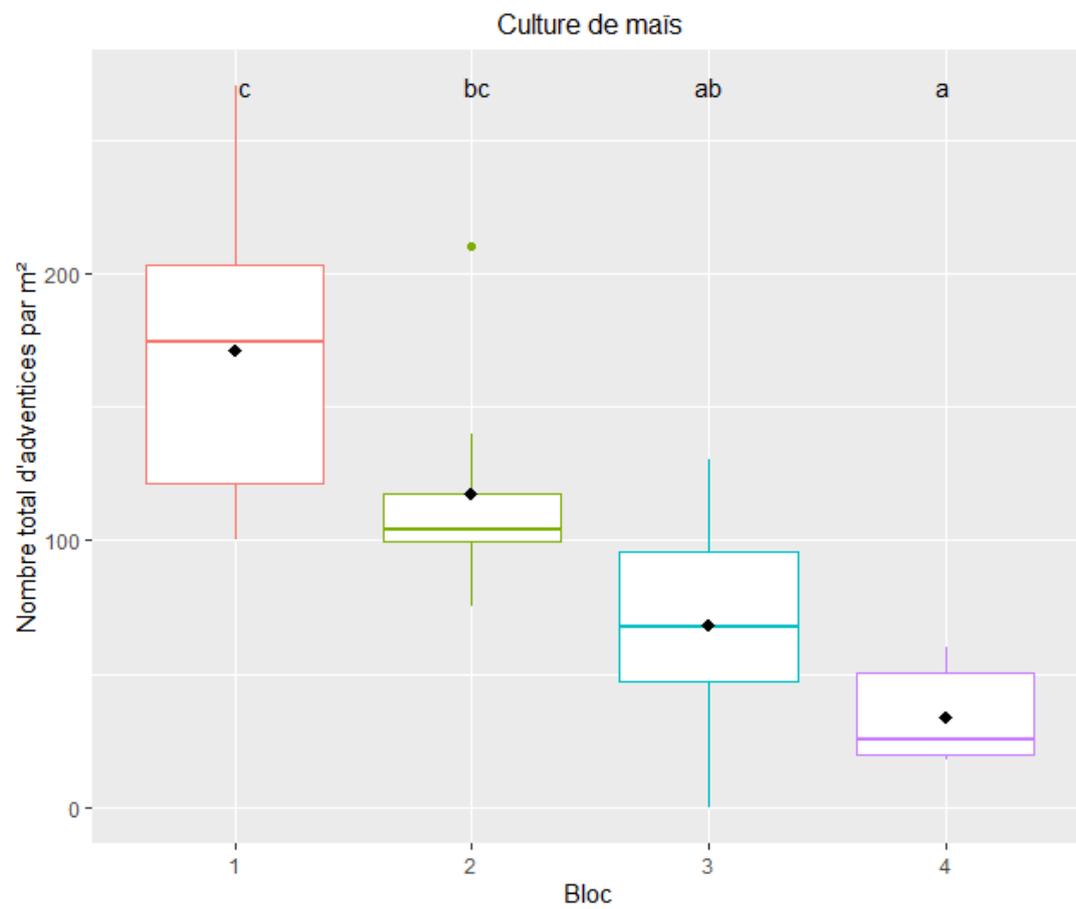
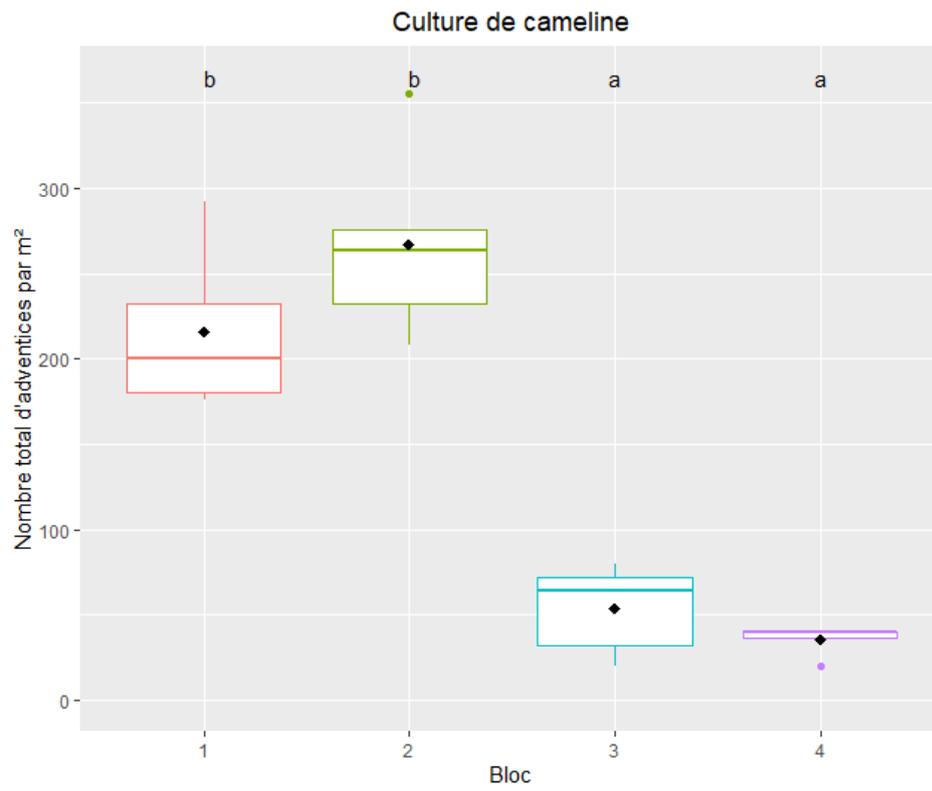


Parcelle zéro phyto avec forte abondance d'agrostis jouet-du vent au niveau du bloc 1

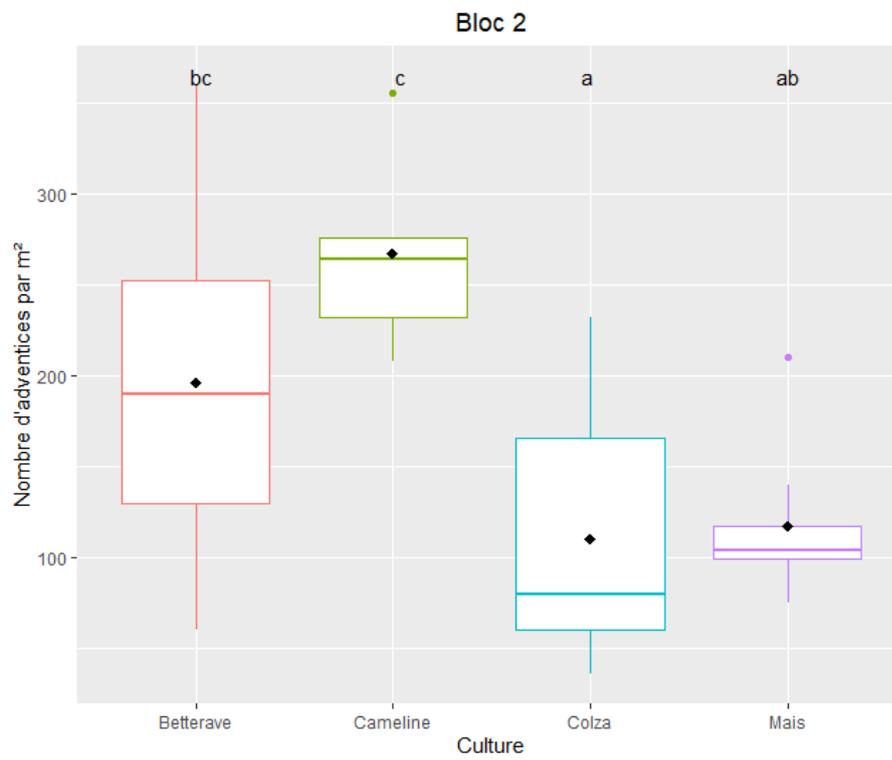
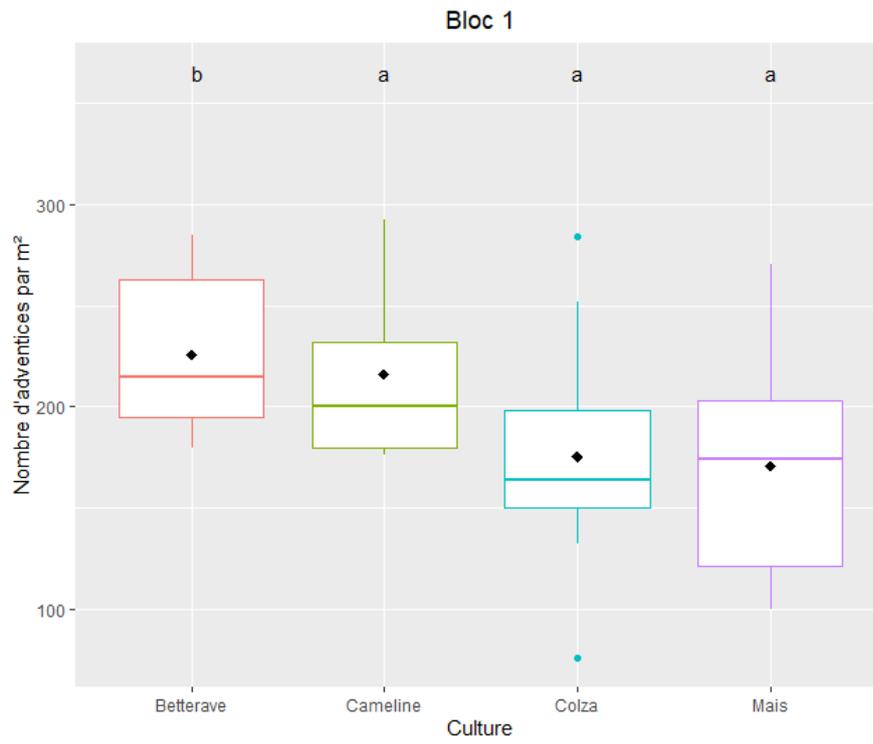


Annexe 10 : Densités d'adventices en fonction des blocs pour chaque culture

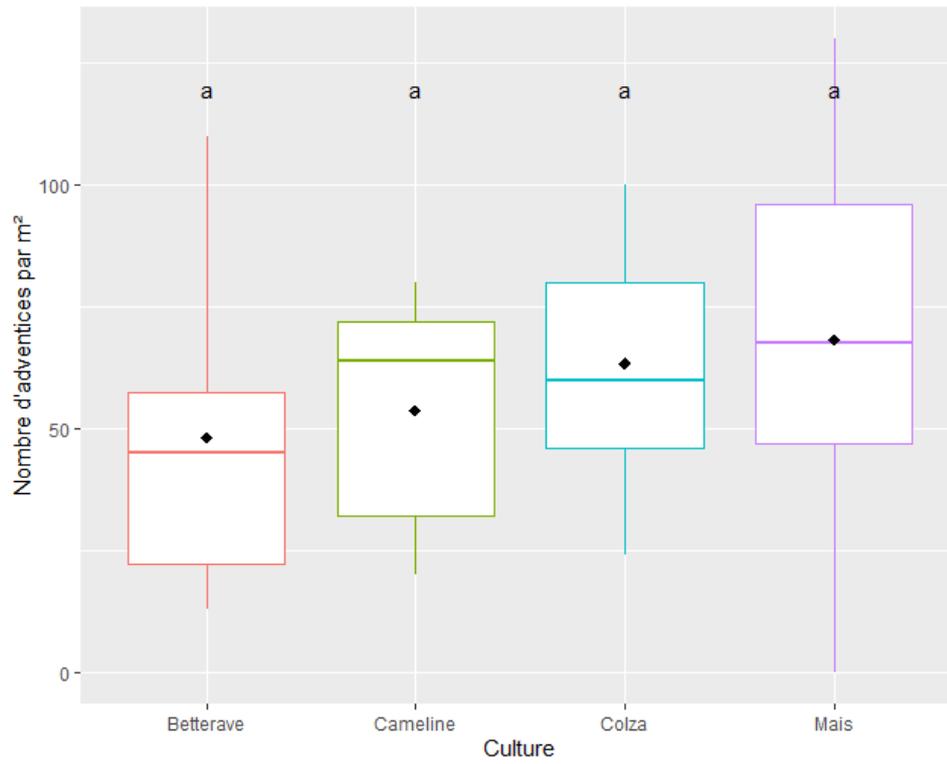




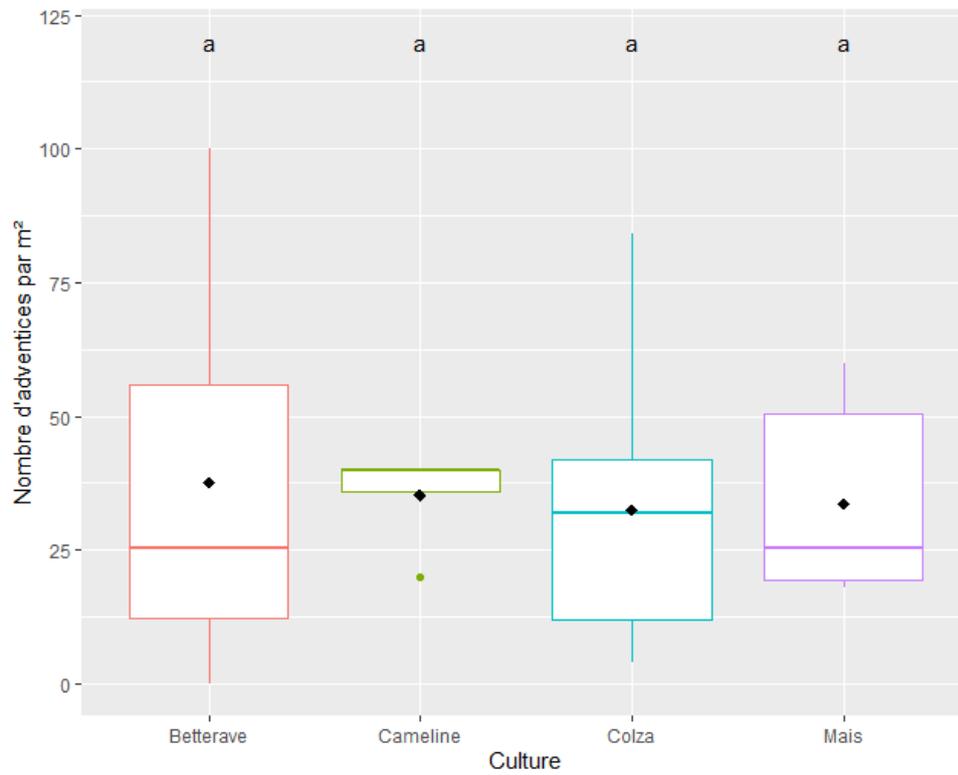
Annexe 11: Analyse homogénéité des parcelles



Bloc 3



Bloc 4



Annexe 12: Tableaux des noms vernaculaires et scientifiques de l'ensemble des bioagresseurs.

Nom vernaculaire	Nom scientifique
Chénopode blanc	<i>Chenopodium album</i> L., 1753
Coquelicot	<i>Papaver rhoeas</i> L., 1753
Laiteron rude	<i>Sonchus asper</i> (L.) Hill, 1769
Matricaire camomille	<i>Matricaria recutita</i> L.
Morelle noire	<i>Solanum nigrum</i> L., 1753
Mouron des champs	<i>Lysimachia arvensis</i>
Paturin annuel	<i>Poa annua</i> L., 1753
Pensée des champs	<i>Viola arvensis</i> Murray, 1770
Renouée des oiseaux	<i>Polygonum aviculare</i> L., 1753
Rumex	<i>Rumex</i> spp.
Véronique à feuille de lierre	<i>Veronica hederifolia</i> L., 1753
Altise des crucifères	<i>Phyllotreta</i> sp. (Chevrolat, 1836)
Altise d'hiver	<i>Psylliodes chrysocephala</i> (Linnaeus, 1758)
Puceron vert du pêcher	<i>Mysus persicae</i> (Sulzer, 1776)
Puceron cendré du chou	<i>Brevicoryne brassicae</i> (Linnaeus, 1758)
Mouche du chou	<i>Delia radicum</i> (Linnaeus, 1758)
Charançon du bourgeon terminal	<i>Ceutorhynchus picitarsis</i> (Gyllenhaal, 1837)
Charançon de la tige du colza	<i>Ceutorhynchus napi</i> (Gyllenhaal, 1837)
Charançon de la tige du chou	<i>Ceutorhynchus pallidactylus</i> (Marsham, 1802)
Méligèthe des crucifères	<i>Meligethes</i> sp.
Charançon des siliques	<i>Ceutorhynchus assimilis</i> (Paykull, 1792)
Cécidomyie des siliques	<i>Dasineura brassicae</i> (Winnertz, 1853)
Baris des crucifères	<i>Baris laticollis</i> (Marsham, 1802)
Mildiou	<i>Peronospora brassicae</i> Gäum.
Alternaria	<i>Alternaria brassicae</i> ((Berkeley) Saccardo, 1880)
Phoma	<i>Leptosphaeria maculans</i> ((Sowerby) Karsten, 1863)
Botrytis	<i>Botrytis cinerea</i> (Persoon, 1794)
cylindrosporiose	<i>Cylindrosporium cocentricum</i> ((Grev.) Bonord., 1851)
Sclérotinia mycélien	<i>Sclerotinia sclerotiorum</i> ((Libert) de Bary, 1884)
Oïdium	<i>Erysiphe cruciferarum</i> (Opiz ex L. Junell, 1967)
Blaniule	<i>Blaniulus guttulatus</i> (Fabricius, 1798)
Scutigérelle	<i>Scutigerella immaculata</i> (Newport, 1845)
Atomaire	<i>Atomaria linearis</i> (Stephens, 1836)
Pégomyie	<i>Pegomyia betae</i> (Curtis, 1847)
Puceron noir de la fève	<i>Aphis fabae</i> (Scopoli, 1763)
Noctuelle gamma	<i>Autographa gamma</i> (Linnaeus, 1753)
Puceron vert du pêcher	<i>Myzus persicae</i> (Sulzer, 1776)
Puceron vert de l'échalote	<i>Myzus ascalonicus</i> (Doncaster, 1946)
Altise	<i>Chaetocnema tibialis</i> (Illiger, 1807)
Nématode de la tige	<i>Ditylenchus dipsaci</i> ((Kühn, 1857) Filipjev, 1936)
Mildiou	<i>Peronospora farinosa</i> ((Greville) Rabenhorst, 1824)
Oïdium	<i>Erysiphe betae</i> ((Vanha) Weltzien, 1963)
Cercosporiose	<i>Cercospora betiloca</i> (Saccardo, 1876)
Ramulariose	<i>Ramularia betiloca</i> (Fautrey & Lambotte, 1897)
Rouille	<i>Uromyces betae</i>

Phoma	<i>Phoma betae</i> (Frank, 1892)
Alternariose	<i>Alternaria tenuis</i> (Nees, 1816)
Mouche de semis	<i>Delia platura</i> (Meigen, 1826)
Oscinie de l'avoine	<i>Oscinella frit</i> (Linnaeus, 1758)
Oscinie des céréales	<i>Oscinella pusilla</i> (Meigen, 1830)
Scutigerele	<i>Scutigerele immaculata</i> (Newport, 1845)
Noctuelle du maïs	<i>Sesamia nonagrioides</i> (Lefebvre, 1827)
Gamma	<i>Autographa gamma</i> (Linnaeus, 1758)
Noctuelle des moissons	<i>Agrotis segetum</i> (Denis & Schiffermüller, 1755)
Cicadelle	<i>Macrostelus sexnotatus</i> (Fallén, 1806)
Puceron des céréales	<i>Metopolophium dirhodum</i> (Walker, 1849)
Petit puceron des céréales	<i>Sitibion avenae</i> (Fabricius, 1794)
Puceron bicolore des céréales	<i>Rhopalosiphum padi</i> (Linnaeus, 1758)
Alternaria	<i>Alternaria brassicae</i> ((Berkeley) Saccardo, 1880 <i>Alternaria brassicicola</i> ((Schwein.) Wiltshire, 1947)
Pied noir	<i>Leptosphaeria maculans</i> (Desmaz.) Ces & De Not.
Mildiou	<i>Peronospora camelinae</i> Gaum. sin <i>Peronospora parasitica</i>
Sclerotinia	<i>Sclerotinia sclerotiorum</i> ((Libert) de Bary), 1884
Hernie du chou	<i>Plasmodiophora brassicae</i> (Woronin, 1877)
Rouille blanche	<i>Albugo candida</i> ((Persoon) Roussel, 1806)
Rhizoctone brun	<i>Rhizoctonia solani</i> (Kühn, 1858)

Annexe 13: Données brutes des analyses sur les levées

ANOVA à un facteur fixe (Bloc) du pourcentage de levées en colza

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Bloc	3	30501	10167	22.66	1.4e-10	***
Residuals	76	34102	449			

Pourcentages de levées en colza

Facteur: Bloc	mean	std	r	Min	Max	Q25	Q50	Q75
1	91.875	24.919	20	37.500	135.000	75.000	93.750	112.500
2	74.625	12.985	20	52.500	97.500	67.500	75.000	82.500
3	43.875	24.848	20	15.000	112.500	22.500	37.500	54.375
4	48.750	19.693	20	22.500	82.500	35.625	45.000	69.375

ANOVA à un facteur fixe (Bloc) du pourcentage de levées en betteraves

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Bloc	3	309	103.1	0.906	0.451
Residuals	28	3188	113.8		

ANOVA à un facteur fixe (Bloc) du pourcentage de levées en maïs

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Bloc	3	2722	907.4	8.596	0.00256	**
Residuals	12	1267	105.6			

Pourcentage de levées en maïs en fonction du bloc

Facteur: Bloc	mean	std	r	Min	Max	Q25	Q50	Q75
1	85.000	6.383	4	80.000	93.333	80.000	83.333	88.333
2	56.667	11.547	4	40.000	66.667	55.000	60.000	61.667
3	88.333	11.386	4	73.333	100.000	83.333	90.000	95.000
4	86.667	10.887	4	73.333	100.000	83.333	86.667	90.000

ANOVA à un facteur fixe (Bloc) des pourcentages de levées en cameline

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Bloc	3	301.1	100.36	3.198	0.0518
Residuals	16	502.0	31.38		

Annexe 14: Données brutes des analyses sur la flore adventice en culture de colza

ANOVA à 2 facteurs fixes (Désherbage, Bloc) de la densité d'adventices au 1er comptage

	LR Chisq	Df	Pr(>Chisq)	
Desherbage	53.27	1	2.91E-13	***
Bloc	119.075	3	< 2.2e-16	***
Desherbage: Bloc	8.988	3	0.02946	*

ANOVA à 2 facteurs fixes (Désherbage, Bloc) de la densité d'adventices au 2ème comptage

	LR Chisq	Df	Pr(>Chisq)	
Desherbage	60.053	1	9.23E-15	***
Bloc	69.68	3	5.00E-15	***
Desherbage: Bloc	5.588	3	0.1335	

ANOVA à 2 facteurs fixes (Désherbage et Bloc) de la biomasse sèche de colza

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Desherbage	1	154479	154479	3.618	0.0612	.
Bloc	3	1420646	473549	11.090	4.55E-06	***
Desherbage: Bloc	3	309493	103164	2.416	0.0734	.
Residuals	72	3074477	42701			

Biomasse sèche du colza

Facteur:Bloc	mean	std	r	Min	Max	Q25	Q50	Q75
1	747.588	229.786	20	397.920	1155.000	612.760	708.000	859.430
2	837.074	261.320	20	496.720	1375.800	634.910	768.100	1007.180
3	559.838	211.774	20	199.600	940.400	384.860	539.560	760.140
4	511.550	142.466	20	278.960	864.480	440.080	476.960	604.660

ANOVA par permutation à 2 facteurs fixes (Desherbage,bBloc) de la biomasse sèche des adventices

	Df	R Sum Sq	R Mean Sq	Iter	Pr(Prob)	
Desherbage	1	201237	201237	5000	<2e-16	***
Bloc	3	263941	87980	5000	<2e-16	***
Desherbage:Bloc	3	69580	23193	2145	0.11	
Residuals	72	762555	10591			

Biomasse sèche des adventices

Facteur:Bloc	mean	std	r	Min	Max	Q25	Q50	Q75
1	98.254	95.088	20	4.240	322.200	21.670	69.300	142.060
2	26.214	23.625	20	0.000	78.840	9.040	19.780	37.980
3	254.486	169.097	20	0.000	685.920	134.270	231.580	337.200
4	152.190	127.257	20	15.880	429.920	37.430	130.420	221.590
Facteur:Desherbage								
meca	161.743	149.496	60	0.880	685.920	38.020	116.880	259.870
phyto	45.916	59.956	20	0.000	199.360	4.840	15.900	87.000

ANOVA par permutation à 2 facteurs fixes (Désherbage, Bloc) du pourcentage de biomasse sèche d'adventices par rapport au colza

	Df	R Sum Sq	R Mean Sq	Iter	Pr(Prob)	
Desherbage	1	2484.900	2484.870	5000	<2e-16	***
Bloc	3	4595.900	1531.960	5000	<2e-16	***
Desherbage:Bloc	3	453.500	151.150	251	0.3785	
Residuals	72	12170.800	169.040			

Annexe 15:Données brutes des analyses sur la flore adventice en culture de betterave

ANOVA à 3 facteurs fixes (Bloc, Endroit, Type) de la densité d'adventices au 1er comptage

	LR Chisq	Df	Pr(>Chisq)	
Bloc	32.587	3	3.94E-07	***
Endroit	6.457	1	0.01105	*
Type	0.077	1	0.78111	
Bloc:Endroit	0.93	3	0.81816	
Bloc:Type	3.162	3	0.36731	
Endroit:Type	0.016	1	0.89842	
Bloc:Endroit:Type	0.995	3	0.80239	

ANOVA à 3 facteurs fixes (Bloc, Endroit, Type) de la densité d'adventices au 2ème comptage

	LR Chisq	Df	Pr(>Chisq)	
Bloc	97.222	3	<2e-16	***
Endroit	0.716	1	0.3975	
Type	118.526	1	<2e-16	***
Bloc:Endroit	1.101	3	0.7769	
Bloc:Type	5.215	3	0.1567	
Endroit:Type	0.269	1	0.6039	
Bloc:Endroit:Type	2.617	3	0.4545	

ANOVA à 3 facteurs fixes (Bloc, Endroit, Type) de la densité d'adventices au 3ème comptage

	LR Chisq	Df	Pr(>Chisq)	
Bloc	26.641	3	7.00E-06	***
Endroit	54.711	1	1.40E-13	***
Type	73	1	< 2.2e-16	***
Bloc:Endroit	14.204	3	0.0026401	**
Bloc:Type	8.398	3	0.0384682	*
Endroit:Type	0.49	1	0.4841072	
Bloc:Endroit:Type	19.15	3	0.0002546	***

ANOVA par permutation à 3 facteurs fixes (Bloc, Endroit, Type) du pourcentage de réduction d'adventices entre le 1er et 2ème comptage

	Df	R Sum Sq	R Mean Sq	Iter	Pr(Prob)	
Bloc	3	2591246	863749	1213	0.20198	
Endroit	1	2001740	2001740	662	0.13142	
Bloc:Endroit	3	648075	216025	307	0.75244	
Type	1	5476500	5476500	5000	< 2e-16	***
Bloc:Type	3	4085008	1361669	3607	0.04186	*
Endroit:Type	1	1358697	1358697	630	0.1381	
Bloc:Endroit:Type	3	990745	330248	126	0.79365	
Residuals	48	27852631	580263			

Pourcentage de réduction entre le 1er et 2ème comptage

	mean	std	r	Min	Max	Q25	Q50	Q75
Facteur:Endroit								
Interang	-494.352	1117.666	32	-5100	66.667	-487.180	-22.500	0.000
Rang	-140.645	371.501	32	-1700	100.000	-160.694	0.000	19.375
Facteur:Type								
phyto	-24.975	144.172	32	-600	100.000	-15.714	0.000	48.0114
reference	-610.023	1119.962	32	-5100	0.000	-558.152	-188.889	0.0000

ANOVA par permutation à 3 facteurs fixes (Bloc, Endroit, Type) du pourcentage de réduction d'adventices entre le 2ème et 3ème comptage

	Df	R Sum Sq	R Mean Sq	Iter	Pr(Prob)	
Bloc	3	9250	3083	5000	0.0168	*
Endroit	1	35169	35169	5000	< 2e-16	***
Bloc:Endroit	3	8349	2783	4669	0.04969	*
Type	1	24180	24180	5000	< 2e-16	***
Bloc:Type	3	11585	3862	5000	0.0038	**
Endroit:Type	1	2626	2626	1796	0.0529	.
Bloc:Endroit:Type	3	3692	1231	808	0.32426	
Residuals	48	41924	873			

ANOVA à 3 facteurs fixes (Bloc, Endroit, Type) du pourcentage de réduction entre le 1er et 3ème comptage

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Bloc	3	167554	55851	1.026	0.38948
Endroit	1	386316	386316	7.097	0.01048
Type	1	498964	498964	9.166	0.00396
Bloc:Endroit	3	203065	67688	1.243	0.30438
Bloc:Type	3	219969	73323	1.347	0.27029
Endroit:Type	1	317366	317366	5.83	0.01962
Bloc:Endroit:Type	3	269365	89788	1.649	0.19043
Residuals	48	2612972	54437		

ANOVA à 2 facteurs fixes (Bloc, Type) de la biomasse fraîche des betteraves

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Bloc	3	5924157	1974719	1.587	0.218572	
Type	1	18639939	18639939	14.979	0.000731	***
Bloc:Type	3	3926724	1308908	1.052	0.387827	
Residuals	24	29865305	1244388			

ANOVA à 2 facteurs fixes (Bloc, Type) de la biomasse sèche des betteraves

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Bloc	3	48334	16111	1.807	0.172728	
Type	1	147161	147161	16.510	0.000449	***
Bloc:Type	3	34014	11338	1.272	0.306406	
Residuals	24	213928	8914			

Annexe 16: Données brutes des analyses sur la flore adventice en culture de maïs

ANOVA à 2 facteurs fixes de la densité d'adventices au 1er comptage

	Sum Sq	Df	F value	Pr(>F)	
Bloc	36.799	3	16.032	6.21E-06	***
Endroit	1.511	1	1.975	0.1728	
Bloc:Endroit	0.666	3	0.290	0.8321	
Residuals	18.363	24			

ANOVA à 2 facteurs fixes (Bloc, Comptage) du nombre d'adventices au T0 et T1

	Chisq	Df	Pr(>Chisq)	
Bloc	34.504	3	1.55E-07	***
Comptage	224.846	1	< 2.2e-16	***
Bloc:Comptage	21.528	3	8.18E-05	***

ANOVA à 3 facteurs fixes (Bloc, Comptage, Endroit) du nombre d'adventices au T0 et T2

	Chisq	Df	Pr(>Chisq)	
Bloc	68.6595	3	8.27E-15	***
Comptage	221.8747	1	< 2.2e-16	***
Endroit	12.3323	1	0.0004452	***
Bloc:Comptage	12.9337	3	0.0047821	**
Bloc:Endroit	1.4959	3	0.6832202	
Comptage:Endroit	272.5489	1	< 2.2e-16	***
Bloc:Comptage:Endroit	97.662	3	< 2.2e-16	***

ANOVA à 3 facteurs fixes (Bloc, Comptage, Endroit) de la densité d'adventices au T1 et T2

	Chisq	Df	Pr(>Chisq)	
Bloc	46.0862	3	5.44E-10	***
Comptage	5.534	1	0.01865	*
Endroit	18.2988	1	1.89E-05	***
Bloc:Comptage	23.944	3	2.57E-05	***
Bloc:Endroit	4.9199	3	0.17776	
Comptage:Endroit	28.666	1	< 2.2e-16	***
Bloc:Comptage:Endroit	76.5627	3	< 2.2e-16	***

Annexe 17: Données brutes des analyses sur la flore adventice en culture de cameline

ANOVA à un facteur fixe (Bloc) de la densité d'adventices au 1er comptage

	Sum Sq	Df	F value	Pr(>F)	
Bloc	1541.860	3	54.909	1.21E-08	***
Residuals	149.760	16			

ANOVA à 2 facteurs fixes (Comptage, Bloc) du nombre d'adventices

	Chisq	Df	Pr(>Chisq)	
Comptage	96.682	1	< 2e-16	***
Bloc	146.281	3	< 2e-16	***
Comptage:Bloc	10.071	3	0.01797	*

ANOVA à un facteur fixe (Bloc) du poids sec de la cameline

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Bloc	3	12326	4109	0.785	0.519
Residuals	16	83717	5232		

ANOVA à un facteur fixe (Bloc) du poids sec des adventices

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Bloc	3	14432	4811	32.02	5.38E-07	***
Residuals	16	2403	150			

Biomasse sèche des adventices en fonction du bloc

Facteur:Bloc	mean	std	r	Min	Max	Q25	Q50	Q75
1	55.688	16.982	5	39.880	81.840	42.040	53.600	61.080
2	65.392	15.283	5	46.680	82.480	54.120	65.440	78.240
3	12.912	8.676	5	0.280	20.360	7.720	16.480	19.720
4	2.600	1.909	5	1.280	5.960	1.720	1.800	2.240

ANOVA à un facteur fixe (Bloc) du poids frais de la cameline

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Bloc	3	369267	123089	0.881	0.472
Residuals	16	2234241	139640		

ANOVA à un facteur fixe (Bloc) du poids frais des adventices

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Bloc	3	481974	160658	15.93	4.60E-05 ***
Residuals	16	161326	10083		

Poids frais des adventices en fonction du bloc

Facteur:Bloc	mean	std	r	Min	Max	Q25	Q50	Q75
1	383.256	151.29418	5	237.32	632.36	302.84	344.64	399.12
2	348.832	113.19188	5	245.48	474	249.64	309.84	465.2
3	105.552	67.263	5	8.52	166.04	69.04	119.48	164.68
4	19.56	10.24129	5	9.56	36.52	15.2	16.08	20.44

ANOVA à un facteur fixe (Bloc) du rapport de biomasse sèche d'adventices par rapport à la cameline

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Bloc	3	1500.4	500.1	18.43	1.92E-05 ***
Residuals	16	434.2	27.1		

Pourcentage de biomasse sèche d'adventices par rapport à la cameline

Facteur:Bloc	mean	std	r	Min	Max	Q25	Q50	Q75
1	18.571	6.745	5	12.028	29.648	14.884	17.023	19.269
2	20.945	7.366	5	10.508	29.569	17.685	21.219	25.742
3	4.228	2.915	5	0.101	7.025	2.286	5.783	5.945
4	1.091	0.550	5	0.590	1.990	0.797	0.864	1.214

ANOVA à un facteur fixe (Bloc) du poids frais des adventices

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Bloc	3	2119.80	706.60	14.1	9.35E-05 ***
Residuals	16	801.90	50.10		

Pourcentage de biomasse fraîche d'adventices par rapport à la cameline

Facteur:Bloc	mean	std	r	Min	Max	Q25	Q50	Q75
1	24.629	10.221	5	14.579	41.538	19.206	23.407	24.418
2	24.199	8.892	5	12.124	35.643	21.169	22.595	29.464
3	6.602	4.094	5	0.567	9.858	4.134	8.942	9.510
4	1.650	0.435	5	1.331	2.409	1.436	1.478	1.596

Annexe 18: Données brutes de l'analyse générale et du suivi du stock semencier

ANOVA à un facteur fixe (Bloc) de la densité d'adventices lors du suivi du stock semencier

	Sum Sq	Df	F value	Pr(>F)	
Bloc	208.09	3	36.556	< 2.2e-16	***
Residuals	296	156			

ANOVA à 2 facteurs fixes (Bloc, Culture) de la densité d'adventices

	LR Chisq	Df	Pr(>Chisq)	
Bloc	145.497	3	<2e-16	***
Culture	87.255	2	<2e-16	***
Bloc:Culture	8.668	6	0.1931	

Annexe 19: Données brutes des analyses des ravageurs du colza

ANOVA à un facteur fixe (Bloc) du nombre de larves d'altises

	Sum Sq	Df	F value	Pr(>F)	
Bloc	54.45	3	60.888	0.0006951	***
Residuals	345.76	116			

ANOVA à un facteur fixe (Bloc) du nombre de charançons de la tige

	Sum Sq	Df	F value	Pr(>F)
Bloc	11.445	3	1.6735	0.1765
Residuals	264.439	116		

ANOVA à un facteur fixe (Bloc) du nombre de cécidomyie par silique infectée

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Bloc	3	319	106.17	2.797	0.044 *
Residuals	101	3834	37.96		

ANOVA à un facteur fixe (Bloc) du pourcentage de tige sans siliques

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Bloc	3	1886	628.6	2.982	0.0343	*
Residuals	116	24453	210.8			

Pourcentage de tige sans siliques

Facteur:Bloc	mean	std	r	Min	Max	Q25	Q50	Q75
1	60.88981	14.40932	30	23.07692	100	54.31548	59.49163	67.76786
2	55.4046	14.98132	30	34.93976	86.11111	45.47902	51.25	64.31604
3	49.7596	16.98756	30	21.51899	82.35294	38.46387	50	61.7482
4	56.45562	11.0705	30	34.375	74.54545	48.01923	57.29483	65.04208

ANOVA par permutation à un facteur fixe (Bloc) du pourcentage de siliques infectées

	Df	R Sum Sq	R Mean Sq	Iter	Pr(Prob)
Bloc	3	318.5	106.17	4506	0.05393
Residuals	101	3834	37.96		

Pourcentage de siliques infectées par des larves de cécidomyies

Facteur:Bloc	mean	std	r	Min	Max	Q25	Q50	Q75
1	3.194444	3.795246	30	0	13	0	2	5
2	5.252778	8.021358	30	0	38	0	2.5	7.5
3	3.033951	4.921242	27	0	22	0	1	3.625
4	7.769444	7.359033	18	0	29	3	5.833333	10.6