



INSTITUT DE RECHERCHE
ET DE DÉVELOPPEMENT
EN AGROENVIRONNEMENT
ИИ ВСВОЕИЛІВОИИЕШЕИИ
ET DE DÉVELOPPEMENT

RAPPORT FINAL

DÉVELOPPEMENT D'UNE RÉGIE DE PRODUCTION BIOLOGIQUE DE JEUNES POUSSÉS DE LÉGUMES-FEUILLES : UNE APPROCHE MULTIDISCIPLINAIRE



Responsable scientifique : Caroline Côté

Co-auteurs : Mylène Généreux, Annabelle Firlej, Élisabeth Ménard, Carl Boivin, Paul Deschênes, Maryse Leblanc, Maxime Lefebvre et Caroline Côté.

Rapport présenté à Vert Nature inc.

Avril 2020

Projet IRDA # : 400 077

www.
irda.
qc.ca

L'IRDA a été constitué en mars 1998 par quatre membres fondateurs, soit le Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation (MAPAQ), l'Union des producteurs agricoles (UPA), le Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC) et le Ministère de l'Économie et de l'Innovation (MEI).

L'IRDA est une corporation de recherche à but non lucratif qui travaille à chaque année sur une centaine de projets de recherche en collaboration avec de nombreux partenaires du milieu agricole et du domaine de la recherche.

Notre mission

L'IRDA a pour mission de réaliser des activités de recherche, de développement et de transfert en agroenvironnement visant à favoriser l'innovation en agriculture, dans une perspective de développement durable.

Notre vision

L'IRDA se démarque par son approche intégrée et par le dynamisme de ses partenariats qui lui permettent d'anticiper les problèmes et de proposer des solutions novatrices répondant aux besoins des agriculteurs et de la société.

Pour en savoir plus

www.irda.gc.ca

PARTENAIRES FINANCIERS

Ce projet a été réalisé dans le cadre de la grappe scientifique biologique III d'Agriculture et Agroalimentaire Canada, en collaboration avec Vert Nature inc. La grappe scientifique biologique est une initiative conjointe de la Fédération biologique du Canada et du Centre d'agriculture biologique du Canada de l'Université Dalhousie,



Canada



ÉQUIPE DE RÉALISATION DU PROJET ET DE RÉDACTION DU RAPPORT

- Coordination et productivité des systèmes : **Caroline Côté**, agr., Ph.D. et **Mylène Généreux**, M.Sc.
- Entomologie : **Annabelle Firlej**, Ph.D. et **Élisabeth Ménard**, B.Sc., DESS Env.
- Régie de l'irrigation : **Carl Boivin**, agr., M.Sc. et **Paul Deschênes**, agr., M.Sc.
- Malherbologie : **Maryse Leblanc**, agr., Ph.D. et **Maxime Lefebvre**, Ph.D.

COLLABORATEURS

- Statisticienne : **Michèle Grenier**
- Technicien(ne)s : **Kim Ostiguy**, **Annie Fortin**, **Gabrielle Chevrier**, **Justin Ouellette** et **Mylène Dandurand**
- Ouvriers agricoles : **Rémi Ducharme**, **Éric Ducharme**, **Yannick Jetté**, **Gaétan Guérin** et **Yves Begnoche**
- Assistant(e)s de recherche : **Maha Sabsabi**, **Camille Leblanc**, **Pierrick Decool** et **Florent Arthur**

Les lecteurs qui souhaitent commenter ce rapport peuvent s'adresser à :

Caroline Côté

Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA)

335 rang des Vingt-Cinq Est, St-Bruno-de-Montarville (Québec) J3V 0G7

Téléphone : 450 653-7368, poste 310

Courriel : caroline.cote@irda.qc.ca

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent particulièrement à remercier la participation tant financière que technique de Vert Nature inc. L'appui et le temps consacré au projet par le personnel de l'entreprise ont permis la bonne réalisation de celui-ci. Des remerciements s'adressent également à l'IRDA qui a fourni une contribution importante dans le cadre de cette étude.

LE RAPPORT PEUT ÊTRE CITÉ COMME SUIT :

Généreux, M., A. Firlej, É. Ménard, C. Boivin, P. Deschênes, M. Leblanc, M. Lefebvre et C. Côté. 2020. Développement d'une régie de production biologique de jeunes pousses de légumes-feuilles : une approche multidisciplinaire. Rapport final. IRDA et partenaires. 143 pages et annexes.

SOMMAIRE

Deux sites de production de légumes-feuilles ont été mis en place en sol organique en 2018 et 2019 à la Plateforme d'innovation en agriculture biologique de l'IRDA à St-Bruno-de-Montarville.

Au **site 1**, des cycles consécutifs de laitue romaine verte et d'épinard ont été produits. Neuf traitements combinant différentes cultures de couverture et modes de fertilisation ont été répétés trois fois au champ pour un total de 27 parcelles expérimentales. Quatre combinaisons de plantes trappes ont également été intégrées au dispositif afin d'évaluer leur potentiel attractif sur l'altise à tête rouge. Les rendements en laitue et en épinard, ainsi qu'une évaluation du nombre et de la biomasse des mauvaises herbes ont été réalisés dans chaque parcelle à la récolte.

La gestion de l'irrigation a été maintenue en respectant une consigne de déclenchement de l'irrigation à une valeur de -15 kPa au tensiomètre. Une consigne de déclenchement de l'irrigation déterminée avec l'approche du « point tournant » (PT) a été établie et cette approche suggère des valeurs qui se situent entre -25 à -30 kPa pour la laitue romaine verte, dans les conditions de l'étude (sol, biomasse et mauvaises herbes). Les pertes en eau dues à l'évaporation et aux prélèvements des cultures de laitues romaines vertes et d'épinards étaient principalement réalisées dans les dix premiers centimètres du sol. Le positionnement du tensiomètre gagnerait donc à ne pas dépasser cette profondeur pour près de 75 % de la durée de croissance de la laitue romaine verte, tandis qu'elle pourrait être maintenue à 10 cm pour l'ensemble de la saison avec la culture de l'épinard. Les prélèvements en eau par ces cultures se produisent de manière générale entre 9 h et 20 h, ainsi qu'entre 10 h et 20 h pour la laitue romaine verte et l'épinard, respectivement. Des valeurs de coefficients culturaux (K_c) ont été calculées en mettant en relation la diminution de la teneur en eau du sol et l'évapotranspiration de référence, sur une base quotidienne. Ces coefficients se situent entre 0,23 et 0,72 pour la laitue romaine verte (saison de croissance complète) et entre 0,57 et 0,73 pour les épinards (milieu et fin de croissance uniquement). Davantage d'essais sont nécessaires afin d'augmenter la précision de ces résultats.

Les rendements de laitue romaine étaient semblables dans les deux scénarios de fertilisation azotée, que ce soit sous un apport de compost ou de granules Acti-Sol®. Le traitement contrôle non-fertilisé a généré significativement moins de biomasse de laitue. En 2019, les parcelles sous compost ont généré significativement plus de rendements que les deux autres traitements de fertilisation. La même tendance est observée quand on analyse les deux années combinées. Pour l'épinard, les rendements étaient semblables dans tous les scénarios en 2018. En 2019 et en analysant les deux années combinées, les parcelles fertilisées avec l'Acti-Sol® ont généré significativement plus de rendements. La culture de couverture n'a pas eu d'effet sur les rendements de laitue et d'épinard. La présence de cultures de couverture ou le mode de fertilisation ont eu très peu d'impacts sur les populations de mauvaises herbes au cours de l'étude.

Pour le bilan des deux saisons, il est possible de conclure que plus la bande de plantes trappes est diversifiée, plus elle est attractive et ce, en comparant avec l'utilisation de l'amarante seule. La présence de mauvaises herbes et le manque d'eau ont un effet important sur la germination des plantes attractives. Ainsi, il est important d'avoir une bonne gestion des mauvaises herbes et de l'irrigation pour pouvoir utiliser la méthode de lutte par les plantes attractives.

Au **site 2**, des productions de laitue frisée rouge (2018), de romaine rouge (2019) et de roquette (2 ans) ont été réalisées. Le dispositif incluait trois types de cultures de couverture en parcelles principales répétées trois fois au champ. Pour chaque parcelle principale en 2018, six traitements de désherbage mécanique combinés ou non à des bioherbicides étaient évalués, pour un total de 54 parcelles expérimentales avec un suivi malherbologique. L'efficacité des pratiques de désherbage a été mesurée à chaque passage en dénombrant les mauvaises herbes dans chacune des parcelles, ce qui a également été fait à la récolte en plus de la mesure de la biomasse des adventices et des rendements de la culture. Intégrés à ces parcelles, trois traitements incluant des bioinsecticides et des prédateurs naturels ainsi qu'un témoin ont été répétés six fois au champ, pour un total de 18 parcelles avec un suivi entomologique.

En marge du site 2, un essai de modélisation de la levée des mauvaises herbes a permis d'amasser des données préliminaires sur la dynamique de la levée des mauvaises herbes en sol organique en fonction du moment de l'année où la préparation de sol a lieu. Il demeure important de poursuivre l'acquisition de données pour pouvoir extrapoler les paramètres spécifiques de réponse à l'humidité et température de chaque espèce et ainsi développer des modèles plus justes et valides.

Trois espèces ont fait l'objet d'analyses plus poussées afin de modéliser la levée de celles-ci lors des deux ans d'observations. La levée dans les six premiers traitements a été modélisée à l'aide de l'équation de Weibull pour le chénopode blanc et une équation type bimodale Weibull et logistique pour la bourse-à-pasteur et le pourpier potager. Les valeurs prédites de la levée lors du cycle de production de laitue semblent concorder avec les valeurs observées lors des opérations de faux semis. Généralement, les modèles développés correspondent à la dynamique de la levée suite aux interventions. Malgré les limites existantes de ces modèles (basés sur seulement deux ans d'observation) et sur des paramètres cardinaux estimés, l'analyse réalisée permet de croire qu'il serait réalisable à plus long terme de modéliser la levée des mauvaises herbes sur les planches de production de jeunes pousses. Potentiellement, il serait possible de prédire les proportions des populations détruites par les faux semis et celles qui s'établiront éventuellement dans les cultures. Cependant, il n'est pas possible de quantifier le nombre de mauvaises herbes qui lèveront avant chaque intervention de faux semis.

La gestion de l'irrigation a été maintenue en respectant une consigne de déclenchement de l'irrigation à une valeur de -15 kPa au tensiomètre pour les 10 premiers jours après le semis des deux cultures. Après cette date, la consigne d'irrigation était de -30 kPa. Les prélèvements en eau des cultures de laitue romaine rouge et de roquette étaient principalement réalisés dans les dix premiers centimètres du sol. Le positionnement du tensiomètre gagnerait donc à ne pas dépasser cette profondeur pour près de 85 % de la durée de croissance de la roquette, tandis qu'elle pourrait être maintenue pour l'ensemble de la saison avec la culture de laitue romaine rouge. Les prélèvements en eau par ces cultures se produisent de manière générale entre 10 h et 19 h ainsi qu'entre 10 h et 18 h pour la laitue romaine rouge et la roquette, respectivement. Des valeurs de coefficients culturaux (Kc) ont été calculées en mettant en relation la diminution de la teneur en eau du sol et l'évapotranspiration de référence. Ces coefficients se situent entre 0,29 et 0,60 pour la laitue romaine rouge (saison de croissance complète) et entre 1,10 et 1,41 pour la roquette (fin de croissance uniquement). Davantage d'essais sont nécessaires afin d'augmenter la précision de ces résultats.

La deuxième année d'étude nous a permis d'observer que lorsque la herse étrille travaille de façon adéquate à une profondeur constante, son efficacité est similaire à celle du sarcléur à cages. De plus en 2019, la densité des mauvaises herbes établie dans les cultures dans les parcelles désherbées avec la herse étrille était plus faible d'environ 23 %. L'irrigation est une opération importante permettant de stimuler la levée des mauvaises herbes pendant la période des faux semis. Cependant, dans cette étude, une seule irrigation a été aussi bénéfique que d'irriguer à deux reprises. De plus, les parcelles irriguées avaient une quantité similaire de mauvaises herbes à la récolte des cultures. Ces tendances ont toutefois besoin d'être confirmées par davantage d'essais, car dépendants de la pluviométrie et de la consigne d'irrigation choisie.

Pour le bilan des deux saisons, l'utilisation d'une régie de bioinsecticides ou de bioinsecticides combinés à des prédateurs naturels n'a pas démontré d'effets statistiquement significatifs sur les dommages à la récolte de la laitue frisée rouge et de la roquette malgré certaines tendances. D'autres essais seraient à réaliser pour tester différents prédateurs naturels.

TABLE DES MATIÈRES

Sommaire	i
Introduction	5
SECTION 1. Site 1 – Essais de fertilisants et de plantes attractives	6
SECTION 2. Site 2 – Contrôle des ravageurs et des mauvaises herbes	56
Conclusion générale	142
Annexe 1 – Description des principaux ravageurs et de leurs prédateurs naturels.....	144
Annexe 2 – Revue de littérature sur les prédateurs naturels	148

INTRODUCTION

Deux sites de production de jeunes pousses de légumes-feuilles ont été mis en place en 2018 et 2019 en sol organique à la Plate-forme d'innovation en agriculture biologique de l'IRDA à St-Bruno-de-Montarville. Le site 1 était représenté par des essais de fertilisation et de plantes trappes, où des cultures de laitue romaine et d'épinard ont été produites. Le site 2, plutôt orienté sur le contrôle des ravageurs et des mauvaises herbes, a été cultivé en laitue frisée rouge et en roquette, successivement.

Les opérations culturales ont été réalisées selon les recommandations des experts de Vert Nature inc. en tenant compte de la gestion des éléments fertilisants, de l'eau, des ravageurs et des mauvaises herbes.

Le rapport est séparé en deux sections, présentant d'abord le site 1 sur les essais de fertilisants et de plantes trappes et ensuite le site 2 sur les essais de contrôle des ravageurs et des mauvaises herbes.



Sites expérimentaux à la suite de la préparation des buttes – 18 mai 2018.



INSTITUT DE RECHERCHE
ET DE DÉVELOPPEMENT
EN AGROENVIRONNEMENT
ИИ УСКОЕИЛІВОИИЕИИИ
ИИ ДЕ ДЕЛЕГОБЪЕИИИ

SECTION 1

SITE 1. ESSAIS DE FERTILISANTS ORGANIQUES ET DE PLANTES ATTRACTIVES



SECTION 1. SITE 1 – ESSAIS DE FERTILISANTS ET DE PLANTES ATTRACTIVES

Table des matières

1	Objectifs	9
2	Méthodologie	12
2.1	Dispositif expérimental	12
2.2	Fertilisation et productivité des systèmes	13
2.2.1	Variables mesurées.....	15
2.2.2	Analyse statistique.....	15
2.3	Entomologie	15
2.3.1	Biologie de l’insecte.....	15
2.3.2	Choix des plantes attractives.....	16
2.3.3	Ensemencement des différents assemblages de plantes attractives.....	17
2.3.4	Suivi des populations d’altises.....	19
2.3.5	Domages présents sur la culture.....	20
2.4	Malherbologie	20
2.5	Régie de l’irrigation	21
3	Résultats	23
3.1	Productivité des systèmes	23
3.1.1	Caractérisation des cultures de couverture	23
3.1.2	Caractérisation des fertilisants	25
3.1.3	Rendements en laitue romaine	26
3.1.4	Rendements en épinard	28
3.2	Entomologie	32
3.3	Malherbologie	36
3.4	Régie de l’irrigation	42
3.4.1	Consigne de déclenchement de l’irrigation (approche « Point tournant »).....	42
	Annexe A – Opérations au champ 2018 et 2019	48
	Annexe B – Suivi du champ en photos	51

Liste des tableaux

Tableau 2.2.1. Doses de fertilisants appliqués selon les parcelles en 2018 .	14
Tableau 2.2.2. Doses de fertilisants appliqués selon les parcelles en 2019.	14
Tableau 2.2.3. Résumé des éléments fertilisants apportés pour la production de la laitue en 2018 et 2019.	14
Tableau 2.2.4. Résumé des éléments fertilisants apportés pour la production de l'épinard en 2018 et 2019.	14
Tableau 2.3.1. Taux de semis des différents assemblages de plantes attractives	17
Tableau 2.3.2. Coûts en fonction du taux de semis utilisés par parcelle, pour le champ testé et par mètre carré.	18
Tableau 3.1.1. Biomasses sèches produites à l'hectare selon la culture de couverture et l'année.	23
Tableau 3.1.2. Charge en éléments majeurs incorporés au sol en 2017 selon la culture de couverture.	23
Tableau 3.1.3. Tests des effets fixes de type 3 pour la biomasse des cultures de couverture.	24
Tableau 3.1.4. Caractérisation physico-chimique des fertilisants appliqués en 2018.	25
Tableau 3.1.5. Caractérisation physico-chimique des fertilisants appliqués en 2019.	26
Tableau 3.1.6. Résumé des rendements moyens de laitue romaine, ainsi que le taux moyen de matières sèches pour les deux ans d'essais selon la fertilisation.	26
Tableau 3.1.7. Tests des effets fixes de type 3 pour trois variables mesurées pour la laitue romaine.	27
Tableau 3.1.8. Résumé des rendements moyens d'épinards, ainsi que le taux moyen de matières sèches pour les deux ans d'essais selon la fertilisation.	28
Tableau 3.1.9. Tests des effets fixes de type 3 sur trois variables mesurées pour l'épinard .	28
Tableau 3.1.10. Nombre moyen de plants endommagés par la fonte des semis par m ² pour les deux ans d'essais selon la fertilisation.	30
Tableau 3.1.11. Tests des effets fixes de type 3 pour les dommages de fonte de semis dans l'épinard .	30
Tableau 3.1.12. Recouvrement moyen d'épinard à la récolte pour les deux ans d'essais selon la fertilisation.	31
Tableau 3.1.13. Tests des effets fixes de type 3 pour le recouvrement d'épinard à la récolte.	31
Tableau 3.3.1. Analyse statistique de l'impact des facteurs à l'étude sur la densité et la biomasse des mauvaises herbes présentes à la récolte des laitues.	39
Tableau 3.3.2. Analyse statistique de l'impact des facteurs à l'étude sur la densité et la biomasse des mauvaises herbes présentes à la récolte des épinards.	41
Tableau 3.4.1. Apports d'eau aux cultures par le système d'irrigation et les précipitations, 2018.	42
Tableau 3.4.2. Valeurs des consignes de déclenchement des épisodes d'irrigation par culture déterminées par l'approche du « Point tournant », 2018.	42
Tableau 3.4.3. Coefficients culturaux, 2018.	45
Tableau 3.4.4. Périodes avec prédominance des prélèvements en eau situés dans les strates de sol supérieures (0-5 cm et 0-10 cm) par la culture, 2018.	46

Liste des figures

Figure 2.1.1. Dispositif expérimental associé aux essais de fertilisation et de plantes trappes en 2018 et 2019...	13
Figure 2.3.1. Semis mécanisé (Semoir Gandhi) de la moutarde, du colza et de l'amarante rouge et semis manuel du mélange floral.....	19
Figure 2.3.2. Aspiration dans les plantes attractive et décompte des altises au laboratoire.....	19
Figure 2.3.3. Dommage de type "grignotage" causé par l'altise à tête rouge sur l'épinard et l'amarante rouge...	20
Figure 2.4.1. Herse étrille et plaque lissante utilisées pour effectuer les faux semis.....	21
Figure 2.5.1. Station d'acquisition de données pour la gestion de l'irrigation.....	22
Figure 3.1.1. Biomasses des cultures de couverture (traitements de fertilisation confondus) mesurées à l'automne selon l'année.....	24
Figure 3.1.2. Biomasses des cultures de couverture (avoine et pois confondus) mesurées à l'automne selon l'année.	25
Figure 3.1.3. Rendements moyens de laitue romaine selon le type de fertilisant organique.....	27
Figure 3.1.4. Rendements moyens d'épinards selon le fertilisant organique.....	29
Figure 3.1.5. Nombre de plants d'épinards affectés par la fonte des semis selon le fertilisant organique et l'année.....	30
Figure 3.1.6. Recouvrement moyen d'épinards à la récolte selon le fertilisant organique et l'année.....	32
Figure 3.2.1. Altises à tête rouge en élevage pour introduction au champ.....	32
Figure 3.2.2. Nombre moyen d'altise à tête rouge dans la culture d'épinard et dans les différentes bandes de plantes attractives au semis et durant les trois semaines de production pour 2018 et 2019.....	34
Figure 3.2.3. Nombre moyen de feuilles par plants d'épinards avec des dommages d'altises à la récolte pour les différentes bandes de plantes attractives en 2018 et 2019	35
Figure 3.3.1. Densité de l'ensemble des mauvaises herbes à la récolte de la laitue romaine en 2018.....	37
Figure 3.3.2. Biomasse de l'ensemble des mauvaises herbes à la récolte de la laitue romaine en 2018.....	37
Figure 3.3.3. Densité de l'ensemble des mauvaises herbes à la récolte de la laitue en 2018.....	38
Figure 3.3.4. Biomasse de l'ensemble des mauvaises herbes à la récolte de la laitue en 2019.....	38
Figure 3.3.5. Densité de l'ensemble des mauvaises herbes à la récolte des épinards en 2018.....	39
Figure 3.3.6. Biomasse de l'ensemble des mauvaises herbes à la récolte des épinards en 2018.....	40
Figure 3.3.7. Densité de l'ensemble des mauvaises herbes à la récolte des épinards en 2019.....	40
Figure 3.3.8. Biomasse de l'ensemble des mauvaises herbes à la récolte des épinards en 2019.....	41
Figure 3.4.1. Détermination de la consigne de déclenchement de l'irrigation PT pour la laitue romaine verte, 2018.....	43
Figure 3.4.2. Détermination du prélèvement en eau de la culture avec la variation quotidienne de la teneur en eau du sol – Laitue romaine verte, 2018.....	44

Figure 3.4.3. Détermination du prélèvement en eau de la culture avec la variation quotidienne de la teneur en eau du sol – Épinard, 2018.....	45
Figure 3.4.4. Proportion des prélèvements en eau quotidiens par strate de sol pour la culture de laitue romaine verte, 2018.....	46
Figure 3.4.5. Proportion des prélèvements en eau quotidiens par strate de sol pour l'épinard, 2018.....	47

1 OBJECTIFS

Le but du projet était de comparer différentes régies de production de jeunes pousses de légumes-feuilles biologiques en sol organique. Plus spécifiquement, les objectifs étaient de :

1. Quantifier l'impact de cultures de couverture et de fertilisants organiques sur les rendements en légumes-feuilles;
2. Déterminer l'effet de diverses plantes attractives sur leur potentiel à servir de pièges pour l'altise à tête rouge et quantifier les dommages à la culture de l'épinard.

2 MÉTHODOLOGIE

2.1 DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL

Le premier site s'inscrit dans une optique de longue durée et est en production maraîchère depuis 2015. Des cultures de carottes nantaises ont été produites en 2015 et 2016, suivi de légumes-feuilles en 2017. Les mêmes traitements sont appliqués depuis 2015, soit :

En parcelles principales, la culture de couverture :

- Pois fourrager
- Avoine
- Témoin sans couverture

En sous-parcelles, le fertilisant organique :

- Granules de fumier de poules (Acti-Sol®)
- Compost de fumier de bovins
- Témoin sans fertilisation azotée

Dans la culture d'épinard, cinq assemblages de plantes attractives ont été intégrés au dispositif, soit :

- Mélange de deux espèces de crucifères
- Mélange de trois espèces (crucifères + amarante rouge)
- Amarante rouge seule
- Mélange floral
- Témoin sans plantes attractives

Les traitements étaient répétés trois fois au champ et disposés en tiroirs subdivisés, pour un total de 27 parcelles expérimentales de 5 buttes de 2,3 m de large par 10 m de long tel que présenté à la Figure 2.1.1.

	10 m			3 m						
1 butte	3 sp.		amarante			mix floral		2 sp.		témoïn
3 buttes 6,9 m	19	20	21	22	23	24	25	26	27	
	acti-sol	témoïn	compost	acti-sol	compost	témoïn	témoïn	acti-sol	compost	
1 butte	3 sp.		amarante			mix floral		2 sp.		témoïn
	pois fourrager			avoine			témoïn			
1 butte	2 sp.		témoïn		3 sp.		mix floral			amarante
3 buttes 6,9 m	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
	témoïn	compost	acti-sol	témoïn	acti-sol	compost	acti-sol	témoïn	compost	
1 butte	2 sp.		témoïn		3 sp.		mix floral			amarante
	avoine			témoïn			pois fourrager			
1 butte	3 sp.		2 sp.		témoïn		amarante			mix floral
3 buttes 6,9 m	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
	compost	acti-sol	témoïn	compost	acti-sol	témoïn	témoïn	acti-sol	compost	
1 butte	3 sp.		2 sp.		témoïn		amarante			mix floral
	pois fourrager			témoïn			avoine			

Figure 2.1.1. Dispositif expérimental associé aux essais de fertilisation et de plantes attractives en 2018 et 2019.

Note : 2 sp. (2 espèces végétales – moutarde-colza); 3 sp. (3 espèces végétales – moutarde-colza-amarante rouge; mix floral – *Zinnia*, *Coreopsis* et *Chrysanthemum*).

2.2 FERTILISATION ET PRODUCTIVITÉ DES SYSTÈMES

La fertilisation a été appliquée tel que présenté aux Tableaux 2.2.1 et 2.2.2 quant aux doses pour la laitue romaine et l'épinard en 2018 et 2019, respectivement. Les Tableaux 2.2.3 et 2.2.4 présentent les quantités d'éléments nutritifs apportés selon le scénario de fertilisation pour la laitue et l'épinard, respectivement. En bref, pour le cycle de laitue, 35 unités d'azote disponible ont été appliquées dans les parcelles Compost et Acti-Sol®. Pour les parcelles Acti-Sol® et Témoïn, un ajustement du potassium a été réalisé en appliquant du sulfate de potassium pour combler les besoins de la laitue à 185 kg K₂O/ha, tel que recommandé dans les grilles de fertilisation du CRAAQ pour des laitues matures en sol organique.

Pour le cycle en épinard, 30 unités d'azote disponible ont été appliquées sous forme d'Acti-Sol® dans les parcelles Compost et Acti-Sol®, sans ajustement pour le potassium étant donné que la recommandation complète du CRAAQ pour des laitues matures avait été comblée au premier cycle de production et que les besoins en potassium des épinards sont moindres.

Tableau 2.2.1. Doses de fertilisants appliqués selon les traitements en 2018.

Type de fertilisant	Dose de fertilisant (t/ha en base humide)					
	Cycle 1 – laitue romaine			Cycle 2 - épinard		
	Traitement			Traitement		
	Compost	Acti-Sol®	Témoin	Compost	Acti-Sol®	Témoin
Compost de fumier de bovins	38					
Acti-Sol®		0,95		0,83	0,83	
K-Mag (0-0-22)		0,638	0,840			

Tableau 2.2.2. Doses de fertilisants appliqués selon les traitements en 2019.

Type de fertilisant	Dose de fertilisant (t/ha en base humide)					
	Cycle 1 – laitue romaine			Cycle 2 - épinard		
	Traitement			Traitement		
	Compost	Acti-Sol®	Témoin	Compost	Acti-Sol®	Témoin
Compost de fumier de bovins	26					
Acti-Sol®		1,1		0,95	0,95	
Sul-po-mag (0-0-22)		0,710	0,840			

Tableau 2.2.3. Résumé des éléments fertilisants apportés pour la production de la laitue en 2018 et 2019.

Élément fertilisant	Charge fertilisante apportée (kg/ha)					
	2018			2019		
	Traitement			Traitement		
	Compost	Acti-Sol®	Témoin	Compost	Acti-Sol®	Témoin
N total	141	49	0	141	50	0
N disponible ¹	35	35	0	35	35	0
P ₂ O ₅	98	36	0	90	34	0
K ₂ O	236	164	185	173	185	185

¹ Les coefficients d'efficacité de l'azote ont été fixés à 70 et 25 % pour les granules et le compost, respectivement.

Tableau 2.2.4. Résumé des éléments fertilisants apportés pour la production de l'épinard en 2018 et 2019.

Élément fertilisant	Charge fertilisante apportée (kg/ha)					
	2018			2019		
	Traitement			Traitement		
	Compost	Acti-Sol®	Témoin	Compost	Acti-Sol®	Témoin
N total	43	43	0	43	43	0
N disponible ¹	30	30	0	30	30	0
P ₂ O ₅	32	32	0	30	30	0
K ₂ O	21	21	0	25	25	0

¹ Les coefficients d'efficacité de l'azote ont été fixés à 70 et 25 % pour les granules et le compost, respectivement.

2.2.1 Variables mesurées

Propriétés des fertilisants organiques

Lors de l'épandage du fumier de bovins composté et des granules de fumier de poules, trois échantillons de chaque intrant ont été amassés en trois temps afin de bien représenter ce qui était appliqué au champ. Les trois échantillons ont été analysés de façon indépendante pour les variables suivantes :

- pH, matières sèches (%), matière organique (%), cendres (%), C organique (%)
- N total, N minéral (NH₄ et NO₃), C/N, P, K, Ca, Mg, Na

Biomasse des cultures de couverture

La biomasse du pois fourrager et de l'avoine ont été mesurées aux automnes 2017 à 2019. En 2018, les végétaux ont été récoltés à l'aide d'une récolteuse à légumes-feuilles sur une longueur d'environ 5 m par parcelle (mesurée sur place par parcelle). En 2019, les végétaux présents dans un quadrat de 20 cm X 50 cm ont été récoltés manuellement dans chacune des parcelles et pesés séparément. Dans les deux cas, la teneur en eau a été mesurée en laboratoire après un séchage à 65 degrés Celsius.

Rendements

Les rendements bruts ont été mesurés au champ sur les trois buttes centrales des parcelles en récoltant des zones de deux mètres de long sur toute la largeur de la butte. La biomasse des feuilles issues de chaque zone a été pesée et un échantillon composite représentatif a été prélevé pour l'analyse de la teneur en eau.

2.2.2 Analyse statistique

La procédure Proc Mixed (SAS version 9.4) a été utilisée pour l'analyse des données qui proviennent du dispositif en tiroirs subdivisés (*split-plot*). Le modèle comprend les effets fixes de la culture de couverture (en parcelle principale), du fertilisant (en sous-parcelle) et de l'interaction culture de couverture*fertilisant. Les effets aléatoires sont les blocs et les parcelles. Dans l'analyse des deux années combinées, le facteur « année » est ajouté comme un effet aléatoire.

2.3 ENTOMOLOGIE

L'utilisation des plantes attractives a été testée dans le but d'attirer les altises à tête rouge dans la bande florale pour réduire leur présence dans la production de jeunes pousses d'épinards.

2.3.1 Biologie de l'insecte

L'altise à tête rouge (*Systema frontalis*) est un ravageur important des jeunes pousses d'épinard au Québec, même dans les cultures en production conventionnelle (Malenfant, communication personnelle, 2018). Ce ravageur s'alimente au stade adulte de la couche épidermique de la face supérieure de la feuille causant des

dommages circulaires brunâtres et des trous dans les pousses (IQDHO, 2008)¹. L'insecte survit à l'hiver au stade œuf et quelques adultes peuvent survivre dans les haies et aux abords des boisés. L'éclosion des œufs se produit entre la fin mai et le début juin. Les adultes apparaissent en juillet et causent le plus de dommages à ce moment. La ponte se fait en août et en septembre par le dépôt des œufs à la surface du sol (Lacroix, 2013)².

2.3.2 Choix des plantes attractives

Quatre différents assemblages ont été sélectionnés : (1) l'amarante rouge (*Amaranthus retroflexus*), (2) un assemblage de deux crucifères, la moutarde (*Brassica juncea*) et le colza (*Brassica napus*), (3) un assemblage composé de toutes les espèces des deux premiers mélanges (Amarante rouge, colza et moutarde), puis (4) un assemblage composé d'un mélange floral comprenant les fleurs suivantes : *Coreopsis* (variété *Incredible mix*), *Chrysanthemum* (variété Alaska) et *Zinnia* (variété *Giant flowered mix*). L'amarante rouge a été sélectionnée car elle est présentement utilisée comme plante attractive en entreprise pour limiter les dommages d'altises à tête rouge. Le choix des deux crucifères est basé sur les travaux de Parker et al. (2012)³ étudiant l'utilisation de plantes attractives contre les altises. En 2018, la moutarde était la variété Pacific Gold, dont le transport vers le Canada n'était pas autorisé en 2019. Ainsi, en 2019, le test a été fait avec de la moutarde blanche. L'assemblage des trois espèces ensemble permettait de vérifier si un effet cumulatif ou synergique pouvait être observé entre ces espèces, tant au niveau de l'attractivité des altises qu'au niveau des dommages sur les cultures testées. Le mélange de différentes espèces de plantes attractives permet d'attirer le ravageur par des profils chimiques, des structures physiques et des phénologies différentes (Parker et al., 2012). Le choix du mélange floral provient du profil d'utilisation de plantes hôtes de l'altise à tête rouge (Lauderdale, 2017)⁴. Un dernier traitement témoin sans plantes attractives a également été ajouté au dispositif.

Les différents assemblages de plantes attractives ont été semés pour former deux parcelles de 1,2 mètres de largeur par 10 mètres de longueur de chaque côté des trois buttes de culture pour une surface de 12 m² (Figure 2.1.1). L'attribution de l'emplacement des trois répétitions pour chacun des cinq traitements a été faite de manière aléatoire tout en prenant en compte la présence des autres essais sur le site. Le même dispositif a été répété pour les deux ans d'étude.

Les traitements se décrivent comme suit:

- **Bande de 3 espèces:** Assemblage de plantes attractives composé de: *B. juncea*, *B. napus* et *A. retroflexus*.
- **Bande de 2 espèces :** Assemblage de plantes attractives composé de 3 espèces : *B. juncea*, *B. napus*.

¹ IQDHO, 2008. Gestion de deux importants ravageurs de pépinières ornementales à l'aide de plantes-trappes. <https://www.iqdho.com/images/stories/projets/Plantes-trappes2008.pdf>.

² Lacroix, 2013. L'altise à tête rouge. Bulletin d'information N°20. RAP petits fruits. <https://www.agrireseau.net/Rap/documents/b20pf13.pdf>

³ Parker et al., 2012. Organic Management of Flea Beetles. Washington State University PNW640.

⁴ Lauderdale, 2017. Red-headed Flea Beetle Biology and Management. Industry Research- Nursery and Greenhouse of NC Cooperative Extension. <https://www.ces.ncsu.edu/wp.../2017-Nursery-Landscape-Notes-RHFB-Article.pdf>

- **Amarante rouge** : Présence d'une seule plante attractive, *A. retroflexus*.
- **Mélange floral**: *Coreopsis* spp., *Chrysanthemum* spp. et *Zinnia* spp.
- **Témoin sans bande** : sol nu

2.3.3 Ensemencement des différents assemblages de plantes attractives

Les différents assemblages de plantes attractives ont été semés selon les taux de semis recommandés par les fournisseurs (Tableau 2.3.1).

Tableau 2.3.1. Taux de semis des différents assemblages de plantes attractives (g/m²).

	A. <i>retroflexus</i>	B. <i>juncea</i>	B. <i>napus</i>	Coreopsis spp.	Zinnia spp.	Chrysanthemum spp.
2 espèces	N/A	2,24	1,12	N/A	N/A	N/A
3 espèces	0,54	2,24	1,12	N/A	N/A	N/A
Amarante rouge	0,54	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Mélange floral	N/A	N/A	N/A	0,32 ¹	4,73 ²	0,64 ¹

¹Semoir à main, ²semoir manuel à disque

Tous les assemblages de plantes attractives ont été semés avec un semoir de type Gandhi, à l'exception de l'assemblage du mélange floral qui a été semé manuellement. Les coûts associés à chaque assemblage sont présentés au Tableau 2.3.2. Les taux de semis pour le mélange floral ont été calculés à partir du nombre de semences recommandé pour la moutarde (2 441 semences pour 4 m²), puisqu'il s'agit de la semence la plus similaire au niveau de la taille. Ainsi, 100 semences de chaque espèce du mélange floral ont été pesées pour déterminer le poids de 2 441 semences. Les semences de *Coreopsis* et de *Chrysanthemum* ont été semées avec le semoir manuel pour faire quatre rangées sur la parcelle de 12 m². Entre ces rangs, les *Zinnia* sp. ont été semés à l'aide du semoir manuel de précision (EarthWay) avec le disque 1002-22. Les taux de semis ont été calculés en fonction du design substitutif. Les taux de semis varient selon le nombre d'espèces dans le traitement. Par exemple, pour un traitement contenant trois espèces, la surface totale de 12 m² a été divisée pour que chaque espèce ait la même surface de plantation. L'ensemencement des plantes attractives a été effectué trois semaines avant le semis de la culture d'épinard pour assurer l'atteinte d'une croissance minimale des plantes attractives lorsque la culture commerciale était au stade de premières pousses. Des semis supplémentaires ont été faits au besoin.

Tableau 2.3.2. Coûts en fonction du taux de semis utilisés par parcelle, pour le champ testé et par mètre carré.

Espèce	g/m ²	\$/parcelle	\$/champ ¹	\$/m ²
Moutarde	2,24	2,04	6,12	0,08
Colza	1,12	0,73	2,19	0,03
Amarante rouge	0,54	3,80	11,40	0,08
Coreopsis	0,32	53,38	160,13	2,22
Chrysanthème	0,64	8,83	26,50	0,31
Zinnia	4,73	40,64	121,92	1,69

¹ L'évaluation pour le champ est une évaluation des coûts de plantes attractives pour une production de trois semaines.

En 2018, ces mêmes parcelles ne recevaient que l'eau d'irrigation dédiée à la culture d'épinard; aucune modification du système d'aspersion n'a été apportée pour mieux irriguer les plantes attractives. Aussi, aucun désherbage n'a été fait sauf lors de l'ensemencement des parcelles pour limiter la compétition des espèces lors de la germination, le but étant de limiter les coûts liés à l'usage des bandes attractives. L'ensemencement des assemblages de plantes attractives composés de la moutarde, du colza et de l'amarante rouge a été fait le 20 juillet 2018. Compte tenu de la réception tardive des semences, l'ensemencement des parcelles du mélange floral a été fait le 26 juillet 2018. Le 31 juillet, un deuxième semis de la moutarde, du colza et de l'amarante rouge a dû être réalisé pour atteindre la densité voulue. Le 14 août 2018, il y a eu un deuxième semis des *Coreopsis* et des chrysanthèmes qui n'avaient pas germé dû aux conditions climatiques trop sèches.

En 2019, le premier semis de la moutarde, du colza et de l'amarante rouge a été fait le 25 juillet 2019. Le semis manuel du mélange floral a été fait le 26 juillet 2019. Compte tenu de la saison estivale assez chaude, un deuxième semis de moutarde, de colza et de certaines fleurs a été fait dans le mélange floral. Des irrigations ont été répétées pour faciliter la levée des plantes attractives, tout en vérifiant le débit pour ne pas lessiver les semences. Il a aussi été nécessaire de faire du désherbage dans plusieurs parcelles. Un troisième semis a été nécessaire pour la moutarde et le colza en date du 19 août 2019. Finalement, seule la moutarde et le colza ont eu de la difficulté à bien germer et ce, même si les tests de germination avaient été fructueux.

Suite aux résultats de 2018, des altises à tête rouge ont été volontairement introduites en 2019 pour permettre d'avoir une plus forte pression du ravageur. Un total de 50 individus a été introduit dans chacune des parcelles entre la bande de plantes trappes et les épinards pour ne pas influencer la distribution des ravageurs.



Figure 2.3.1 Semis mécanisé (Semoir Gandhi) de la moutarde, du colza et de l'amarante rouge et semis manuel du mélange floral.

2.3.4 Suivi des populations d'altises

L'échantillonnage des différentes espèces d'altises a été effectué à l'aide d'un aspirateur entomologique à gaz, chaque semaine dès la levée des plantes attractives et ce, jusqu'à la récolte des épinards. Du centre de chacune des parcelles de plantes attractives, l'échantillonnage a été réalisé en aspirant, pendant 10 secondes, les plantes au niveau de leur canopée. Les altises échantillonnées ont été identifiées et comptabilisées en laboratoire à l'aide de cages en plexiglas et d'aspirateur entomologique à pression (Figure 2.3.2). Après le décompte, il y a eu remise des individus dans les parcelles respectives. Les traitements témoins de plantes attractives étaient des sols à nu (aucune plante attractive présente). Il n'y a donc pas eu d'aspiration effectuée dans ces traitements, mais un désherbage hebdomadaire était réalisé pour éviter toute pousse de végétation pouvant attirer les altises. La même technique d'échantillonnage des altises a été réalisée dans les épinards dès l'apparition des premières pousses. Il y a aussi eu identification et décompte des individus en laboratoire. L'échantillonnage par aspiration dans les traitements témoin a été fait dans les plants de jeunes pousses d'épinards n'étant pas entourés de plantes attractives.



Figure 2.3.2. Aspiration dans les plantes attractives et décompte des altises au laboratoire.

2.3.5 Dommages présents sur la culture

À la récolte, il y a eu cueillette de 30 plants d'épinards par parcelle. Une observation des dommages d'altises a été comptabilisée pour chacune des feuilles. Une pousse était considérée endommagée si le feuillage comportait des dégâts de type « grignotage » (Figure 2.3.3). Les dommages d'altises se présentent sous formes de trous ou de grignotages de forme circulaire de l'épiderme de la feuille (Lacroix, 2013).



Figure 2.3.3 Dommage de type « grignotage » causé par l'altise à tête rouge sur épinard (gauche) et sur l'amarante rouge (droite).

Les variables mesurées étaient le nombre d'altises présent dans les plantes attractives et dans la culture d'épinards et le nombre de feuilles endommagées à la récolte.

2.4 MALHERBOLOGIE

En 2018, deux et trois faux semis ont été effectués dans la laitue et l'épinard, respectivement. En 2019, trois faux semis ont été effectués pour chacun des cycles de production. Les faux-semis ont été réalisés à l'aide d'une herse étrille Hazenbichler de 3 m de large munie d'une plaque lissante permettant d'uniformiser et raffermir le sol suite à son passage (Figure 2.4.1).



Figure 2.4.1. Herse étrille et plaque lissante utilisées pour effectuer les faux semis.

En 2018, les évaluations de populations de mauvaises herbes ont eu lieu quelques heures avant la récolte des jeunes pousses de légumes, soit le 11 juillet pour la laitue et le 6 septembre pour l'épinard. En 2019, ces évaluations ont eu lieu le 8 juillet et le 3 septembre respectivement pour les deux cultures. Dans chacune des parcelles expérimentales, les mauvaises herbes ont été dénombrées sur une surface de 0,1 m². Par la suite, elles ont été récoltées par parcelle, puis séchées à 70 °C jusqu'à l'obtention d'un poids sec stable.

Pour l'analyse de la densité et de la biomasse des populations de mauvaises herbes, les données ont été soumises à une analyse de variance et testées pour la normalité et l'homogénéité à l'aide du logiciel R version 3.0.1. Les moyennes ont été comparées à l'aide du test de Tuckey-Kramer (HSD) au seuil de significativité de 0,05. Les données ont été transformées au besoin afin de rencontrer l'hypothèse de la normalité. L'analyse de la densité et de la biomasse a été faite selon un dispositif expérimental en parcelles divisées avec blocs répétés trois fois, sur les données non transformées. Les moyennes originales sont présentées, accompagnées de l'erreur type (SE).

2.5 RÉGIE DE L'IRRIGATION

Les irrigations ont été effectuées avec des gicleurs SOMLO 40C qui ont été disposés en quinconce et espacés aux 18,3 m (60 pieds).

La teneur en eau volumique du sol (cm³ eau/cm³ sol) a été mesurée avec des sondes TDR (CS625, Campbell Scientific) de 30 cm de longueur à 4 endroits sur la largeur de la butte de sol. Les sondes étaient positionnées côte à côte à 25, 50, 75 et 100 cm du premier rang de culture du côté Est de la butte. La culture occupait une largeur d'environ 140 cm au centre de la butte de sol. Les sondes étaient insérées dans le sol en diagonale de manière à couvrir une profondeur variant de 5 à 30 cm. Ainsi, les sondes positionnées à 25, 50, 75 et 100 cm sur la butte couvraient respectivement les profondeurs de 0-20, 0-10, 0-5 et 0-30 cm. Un tensiomètre (SR-RSU-V,

Irrrometer) était inséré dans la butte pour prendre une mesure de la tension du sol (kPa) à une profondeur de 8 cm (3 pouces), environ 100 cm sur la butte au sud de la sonde TDR 0-30 cm. La consigne de déclenchement de l'irrigation était de -15 kPa. Un pluviomètre (RG3-M, Onset) était positionné sur la butte à proximité du tensiomètre pour enregistrer les apports d'eau provenant des précipitations et des épisodes d'irrigation. Tous ces appareils étaient reliés à un acquiiseur de données (CR300, Campbell Scientific) prenant des mesures toutes les 5 minutes (Figure 2.5.1). Pour chaque station d'acquisition, un tensiomètre (SR, Irrrometer) supplémentaire muni d'un manomètre était positionné à proximité du tensiomètre relié à l'acquiiseur de données. Cet appareil permettait de confirmer la validité des valeurs enregistrées et de visualiser rapidement l'état hydrique du sol. Quatre stations d'acquisition de données, telle que décrite précédemment, étaient positionnées dans les parcelles en fonction des précédents culturaux (avoine, pois, témoin) à raison de deux stations avec précédent cultural d'avoine, une avec précédent de pois et la dernière dans une parcelle témoin.

Le suivi du statut hydrique du sol de ce site n'a été réalisé qu'à la saison 2018. Les apports en eau d'irrigation pour la saison 2019 ont été effectués en se basant sur les données issues du site 2. Cette approche a été jugée adéquate étant donné les textures de sol, ainsi que les dates d'opérations culturales similaires.



Figure 2.5.1. Station d'acquisition de données pour la gestion de l'irrigation.

3 RÉSULTATS

3.1 PRODUCTIVITÉ DES SYSTÈMES

3.1.1 Caractérisation des cultures de couverture

Les biomasses en pois fourrager et en avoine mesurées aux automnes 2017, 2018 et 2019 sont présentées au Tableau 3.1.1. Pour 2017, le contenu en éléments majeurs a été évalué et est présenté au Tableau 3.1.2. En général, les biomasses en avoine ont été plus importantes en 2017 et 2018 et ont donc conduit à un retour au sol plus important. Cependant, le pois étant une légumineuse fixatrice d'azote, il faut mentionner qu'une partie de l'azote retourné au sol et présenté au Tableau 3.1.2 n'est pas issu d'un prélèvement. En 2019, les biomasses de pois ont été supérieures à celles d'avoine, avec une différence près du seuil de signification ($P=0.0575$) (Figure 3.1.1).

Tableau 3.1.1. Biomasses sèches produites à l'hectare selon la culture de couverture et l'année.

Traitement	Biomasse (kg/ha en base sèche)					
	pois fourrager			avoine		
	2017	2018	2019	2017	2018	2019
Compost	233	467	973	1 039	428	640
Acti-Sol®	163	356	1 180	509	450	577
Témoin	106	297	993	596	366	510

Tableau 3.1.2. Charge en éléments majeurs incorporés au sol en 2017 selon la culture de couverture.

Traitement	Charge en éléments majeurs incorporés au sol en 2017							
	N total (kg N _{tot} /ha)		N disponible ¹ (kg N _{eff} /ha)		P ₂ O ₅ (kg P ₂ O ₅ /ha)		K ₂ O (kg K ₂ O/ha)	
	pois	avoine	pois	avoine	pois	avoine	pois	avoine
Compost	13	58	12	52	3	14	12	78
Acti-Sol®	9	29	8	26	2	6	7	36
Témoin	5	32	5	29	1	6	5	44

¹ La charge d'azote disponible par hectare a été estimée à partir du contenu en azote total des parties aériennes de la culture de couverture selon la méthode de Jobin et Douville, 2004⁵.

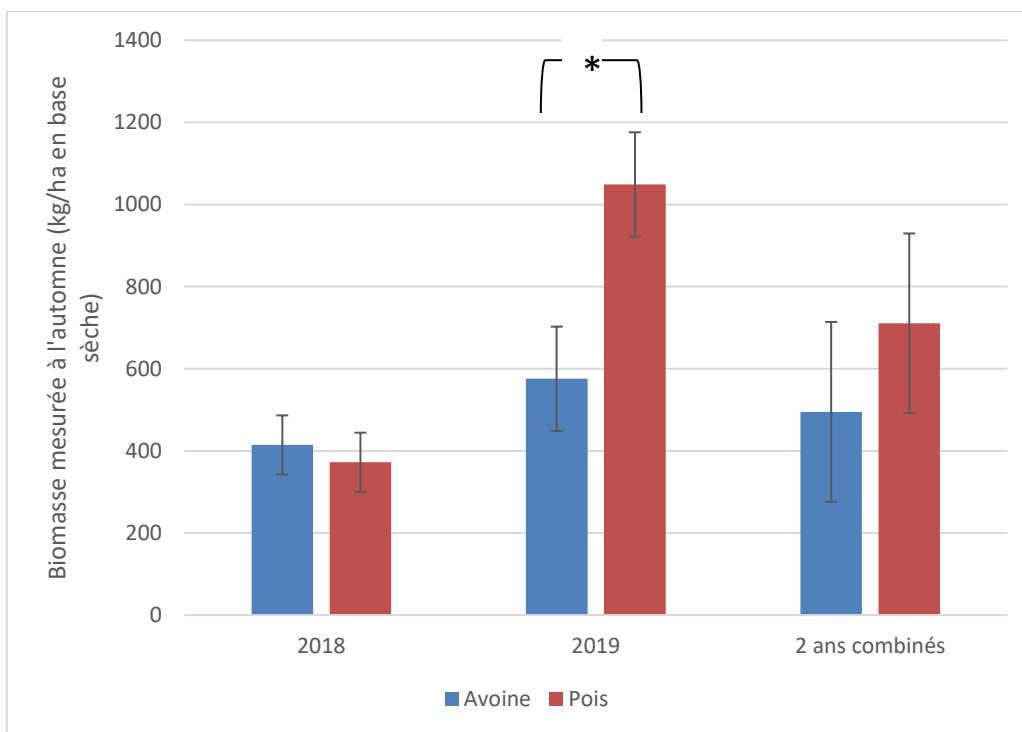


Figure 3.1.1. Biomasses en kg/ha (base sèche) des cultures de couverture (traitements de fertilisation confondus) mesurées à l'automne selon l'année. Notes : La barre d'erreur représente l'erreur-type. L'astérisque présente une différence significative à $P = 0.0575$.

En considérant le type de fertilisation en 2018, il est intéressant de mentionner que les biomasses (pois et avoine confondus) issues des parcelles fertilisées en N étaient significativement plus importantes que celles sans fertilisation (Tableau 3.1.3 et Figure 3.1.2). Cela ne s'est pas reproduit en 2019 ni à la suite de l'analyse des deux années combinées. L'azote appliqué risque ainsi moins d'être perdu si prélevé par les cultures de couverture en fin de saison. L'analyse de l'azote lessivé n'a cependant pas été réalisée au cours de ce projet.

Tableau 3.1.3. Tests des effets fixes de type 3 sur la biomasse des cultures de couverture.

Effet	Probabilité (Pr > F)		
	Biomasse (kg/ha en base sèche)		
	2018	2019	2 ans
Culture de couverture (CC)	0.7037	0.0575	0.1306
Fertilisant (F)	0.0087	0.5775	0.2267
Interaction CC*F	0.1090	0.5394	0.8225

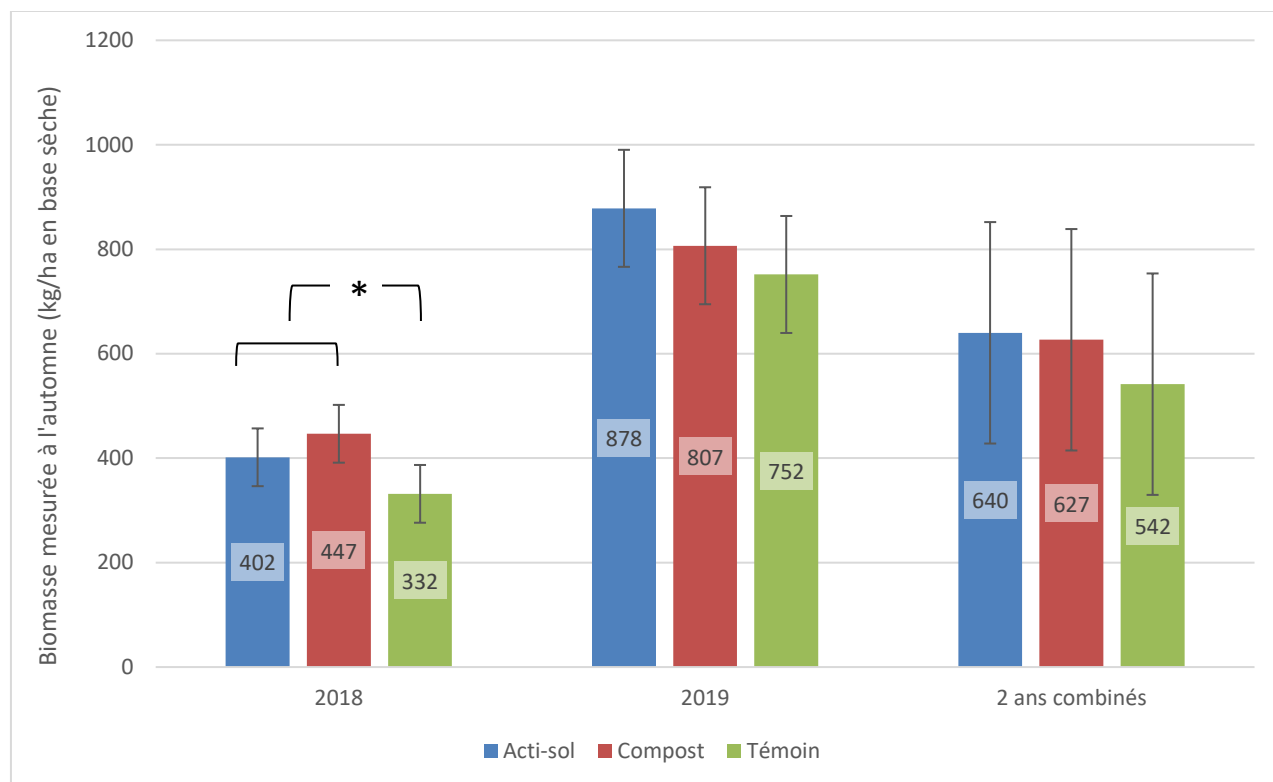


Figure 3.1.2. Biomasses en kg/ha (base sèche) des cultures de couverture (avoine et pois confondus) mesurées à l'automne selon l'année. Notes : La barre d'erreur représente l'erreur-type. L'astérisque présente une différence significative à $P < 0.05$.

3.1.2 Caractérisation des fertilisants

Les tableaux 3.1.4 et 3.1.5 présentent la caractérisation des fertilisants organiques mis dans les parcelles pour les deux années respectivement. Les données représentent la moyenne des trois échantillons prélevés lors des épandages.

Tableau 3.1.4. Caractérisation physico-chimique des fertilisants appliqués en 2018.

	pH	Mat. sèches	Cendres	M.O	C.O	C/N	N Total	N-NH ₄	N-NO ₃	P	K
			%				ppm (base sèche)				
Compost fumier de bovins	8,13	33,1	36,3	63,7	31,9	27,7	11 501	2,3	348,00	3 977	16 408
Granules Acti-Sol®	7,09	90,2	27,6	72,4	36,2	6,2	58 054	2 038,0	6,89	17 151	23 373
			Ca	Mg	Na	B	Cu	Fe	Mn	Zn	
			ppm (base sèche)								
Compost fumier de bovins			11 825	4 209	1 572	67,5	30,2	2 872	251	193	
Granules Acti-Sol®			69 338	5 603	4 990	55,3	96,8	726	451	408	

Tableau 3.1.5. Caractérisation physico-chimique des fertilisants appliqués en 2019.

	pH	Mat. sèches	Cendres	M.O	C.O	C/N	N Total	N-NH ₄	N-NO ₃	P	K
			%				ppm (base sèche)				
Compost fumier de bovins	8,61	30,5	16,2	83,8	41,9	23,6	17 757	1 436	97,4	4 957	18 230
Granules Acti-Sol®	7,45	89,4	26,9	73,1	36,6	7,2	51 020	1 556	70,1	13 617	22 066

	Ca	Mg	Na	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	ppm (base sèche)							
Compost fumier de bovins	11 000	4 600	1 816	12,0	40,0	1 754	241	127
Granules Acti-Sol®	61 650	4 913	4 543	22,3	69,5	1 070	433	404

3.1.3 Rendements en laitue romaine

En 2018, tous traitements confondus, les rendements en base humide ont varié entre 0,36 et 4,43 kg au mètre linéaire (m.l.) (1 848 et 22 703 kg/ha). En 2019, ceux-ci ont varié entre 1,14 et 4,43 kg au m.l. (5 855 et 22 707 kg/ha). Les rendements rapportés au mètre linéaire correspondent à la mesure de la biomasse sur la largeur d'une butte, soit 1,4 m (28 rangs espacés aux 5 cm), par un mètre de long. Le Tableau 3.1.6 présente les rendements et teneurs en matières sèches moyens pour les deux années d'essais selon le fertilisant.

Tableau 3.1.6. Résumé des rendements moyens de laitue romaine (bases humide et sèche), ainsi que le taux moyen de matières sèches pour les deux ans d'essais selon la fertilisation.

Traitement	Rendements moyens de laitue romaine									
	2018					2019				
	kg/ha		kg au m.l.		% mat. sèches	kg/ha		kg au m.l.		% mat. sèches
	humide	sec	humide	sec		humide	sec	humide	sec	
Compost	16 057	811	3,22	0,16	4,93	19 951	1 149	3,89	0,22	5,78
Acti-Sol®	13 843	722	2,70	0,14	5,50	16 593	1 045	3,24	0,20	6,51
Témoin	6 901	573	1,35	0,11	8,85	8 163	823	1,59	0,16	10,4

Malgré plusieurs opérations de désherbage manuel, les populations de pourpier potager étaient importantes dans plusieurs parcelles sans fertilisation azotée, ce qui a entraîné une diminution des rendements en laitue. Il est possible que dans ce contexte de carence nutritionnelle, la laitue n'ait pas compétitionné avec les mauvaises herbes lors de son établissement. Ainsi, les rendements de laitue (base humide) étaient significativement moins élevés dans les parcelles non fertilisées (Figure 3.1.3), les rendements avec Compost et Acti-Sol® étant semblables en 2018. En 2019 et en combinant les deux ans, les parcelles Compost ont présenté significativement de meilleurs rendements (en base humide) que les deux autres traitements. Les rendements des parcelles Acti-Sol® étaient significativement plus élevés que ceux des parcelles Témoin (Figure 3.1.3) pour cette même année.

Le fertilisant a eu un effet hautement significatif sur la teneur en matières sèches des feuilles. En effet, celle-ci a été plus élevée dans les parcelles Témoin (Tableau 3.1.7). Ceci peut s'expliquer par le fait que les feuilles n'avaient pas atteint le même stade de maturité que dans les parcelles fertilisées, étaient plus petites et donc moins turgescentes.

Le fertilisant a également eu un impact significatif sur les rendements en base sèche en 2019 et en combinant les 2 ans. Les parcelles Compost et Acti-Sol® ont effectivement présenté significativement de meilleurs rendements que les parcelles Témoin. La culture de couverture n'a pas eu d'impact significatif sur les rendements de laitue ni sur la teneur en matières sèches des feuilles. Le Tableau 3.1.7 présente l'ensemble des résultats de l'analyse de variance.

Tableau 3.1.7. Tests des effets fixes de type 3 sur trois variables mesurées pour la laitue romaine.

Effet	Probabilité (Pr > F)								
	Rendement humide (kg/ha)			Rendement sec (kg/ha)			Matières sèches (%)		
	2018	2019	2 ans	2018	2019	2 ans	2018	2019	2 ans
Culture de couverture (CC)	0.4504	0.6529	0.2651	0.5276	0.1551	0.1468	0.2979	0.9222	0.6549
Fertilisant (F)	0.0034	<0.0001	<0.0001	0.0915	0.0010	<0.0001	0.0011	<0.0001	<0.0001
Interaction CC*F	0.5608	0.4532	0.2527	0.4580	0.3187	0.1041	0.2327	0.4583	0.7621

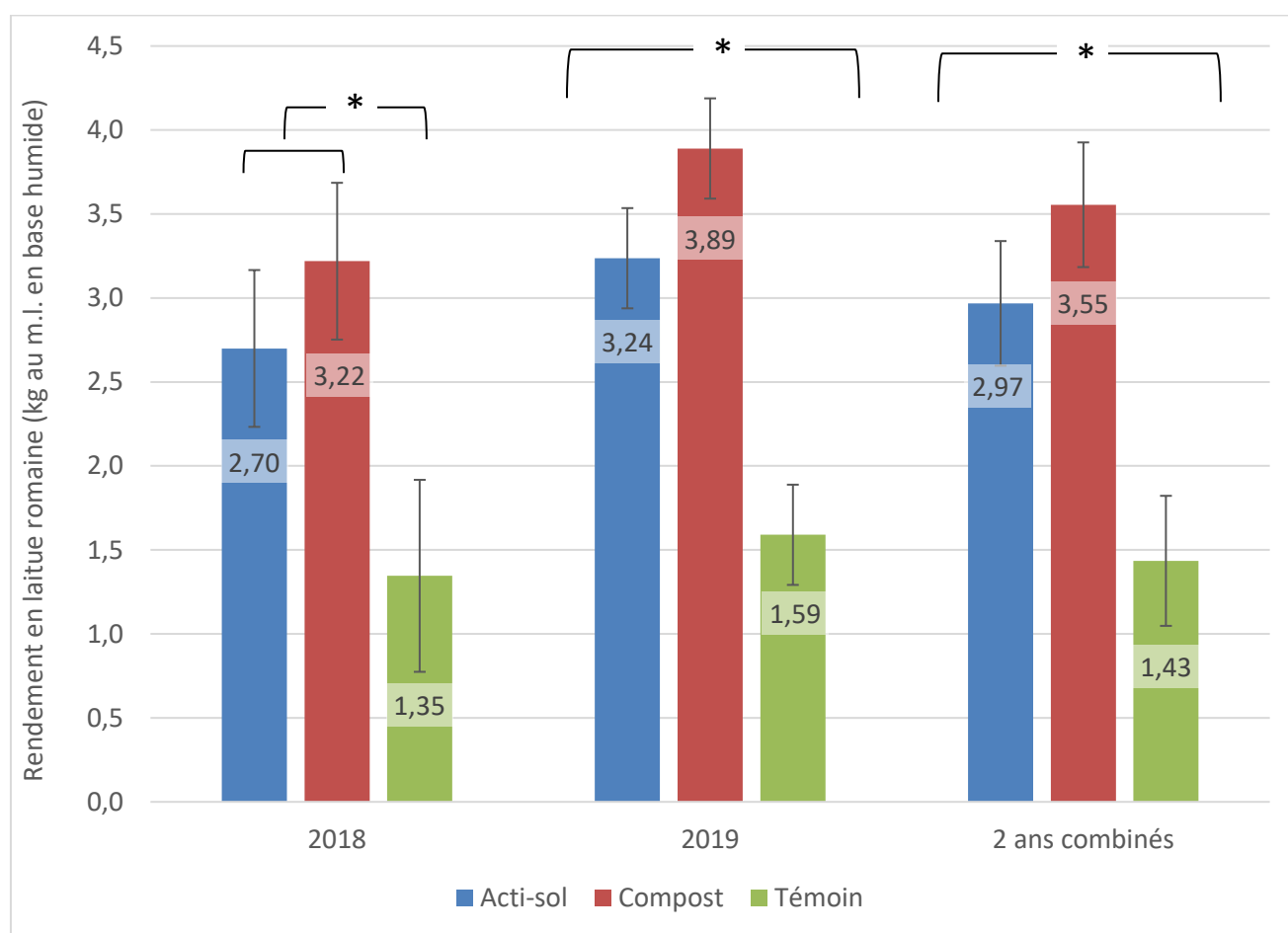


Figure 3.1.3. Rendements moyens de laitue romaine (base humide) selon le type de fertilisant organique. Notes : La barre d'erreur représente l'erreur-type. L'astérisque présente une différence significative à $P < 0.05$.

3.1.4 Rendements en épinard

Bien qu'un traitement biofongicide (Serenade Soil- 14 L/ha) ait été appliqué dans toutes les parcelles 12 et 5 jours avant le semis en 2018 et 2019, respectivement, la production d'épinards a grandement été affectée par la fonte des semis. Tous traitements confondus, les rendements (base humide) ont été faibles, variant entre 0,12 à 1,19 kg/m.l. (616 et 6 127 kg/ha) en 2018 et entre 0,29 et 2,04 kg au m.l. (1 500 à 10 486 kg/ha) en 2019. Le Tableau 3.1.8 présente les rendements et teneur en matières sèches moyens pour les deux ans d'essais selon le fertilisant.

Tableau 3.1.8. Résumé des rendements moyens d'épinards (bases humide et sèche), ainsi que le taux moyen de matières sèches pour les deux ans d'essais selon la fertilisation.

Traitement	Rendements moyens d'épinards									
	2018					2019				
	kg/ha		kg au m.l.		% mat. sèches	kg/ha		kg au m.l.		% mat. sèches
	humide	sec	humide	sec		humide	sec	humide	sec	
Compost	1 917	196	0,37	0,04	11,76	4 796	359	0,93	0,07	7,92
Acti-Sol®	2 693	271	0,53	0,05	11,85	6 391	467	1,25	0,09	7,47
Témoin	1 919	231	0,37	0,05	13,40	4 414	361	0,86	0,07	8,59

En 2018, aucune différence significative n'a été observée entre les traitements quant aux rendements en base humide. En 2019 et en combinant les données des deux années, les parcelles Acti-Sol® ont généré des rendements (base humide) significativement plus élevés, les rendements Compost et Témoin étant similaires (Figure 3.1.4).

En 2018, les rendements en base sèche ont été significativement moindres dans les parcelles Compost, les rendements sous Acti-Sol® et Témoin étant similaires. En 2018 et 2018-2019 combinés, la tendance était la même que pour les rendements humides, c'est-à-dire significativement plus élevés sous Acti-Sol®.

L'analyse de la matière sèches a révélé un effet significatif du fertilisant en 2019 et 2018-2019 combinés (Tableau 3.1.9). Comme dans le cas de la laitue, celle-ci a été significativement plus élevée dans les parcelles Témoin, probablement à cause du stade de maturité moins élevé et donc de leur moindre turgescence.

La culture de couverture n'a pas eu d'impact significatif sur les rendements ni sur le taux de matière sèche des feuilles. Le Tableau 3.1.9 présente l'ensemble des résultats de l'analyse de variance.

Tableau 3.1.9. Tests des effets fixes de type 3 sur trois variables mesurées pour l'épinard.

Effet	Probabilité (Pr > F)								
	Rendement humide (kg/ha)			Rendement sec (kg/ha)			Matières sèches (%)		
	2018	2019	2 ans	2018	2019	2 ans	2018	2019	2 ans
Culture ce couverture (CC)	0.4184	0.6503	0.5277	0.4178	0.6344	0.5526	0.5628	0.7598	0.4583
Fertilisant (F)	0.0905	0.0022	0.0001	0.0228	0.0069	<0.0001	0.2345	0.0088	0.0381
Interaction CC*F	0.9054	0.5618	0.7763	0.5199	0.8364	0.4845	0.5216	0.0901	0.7387

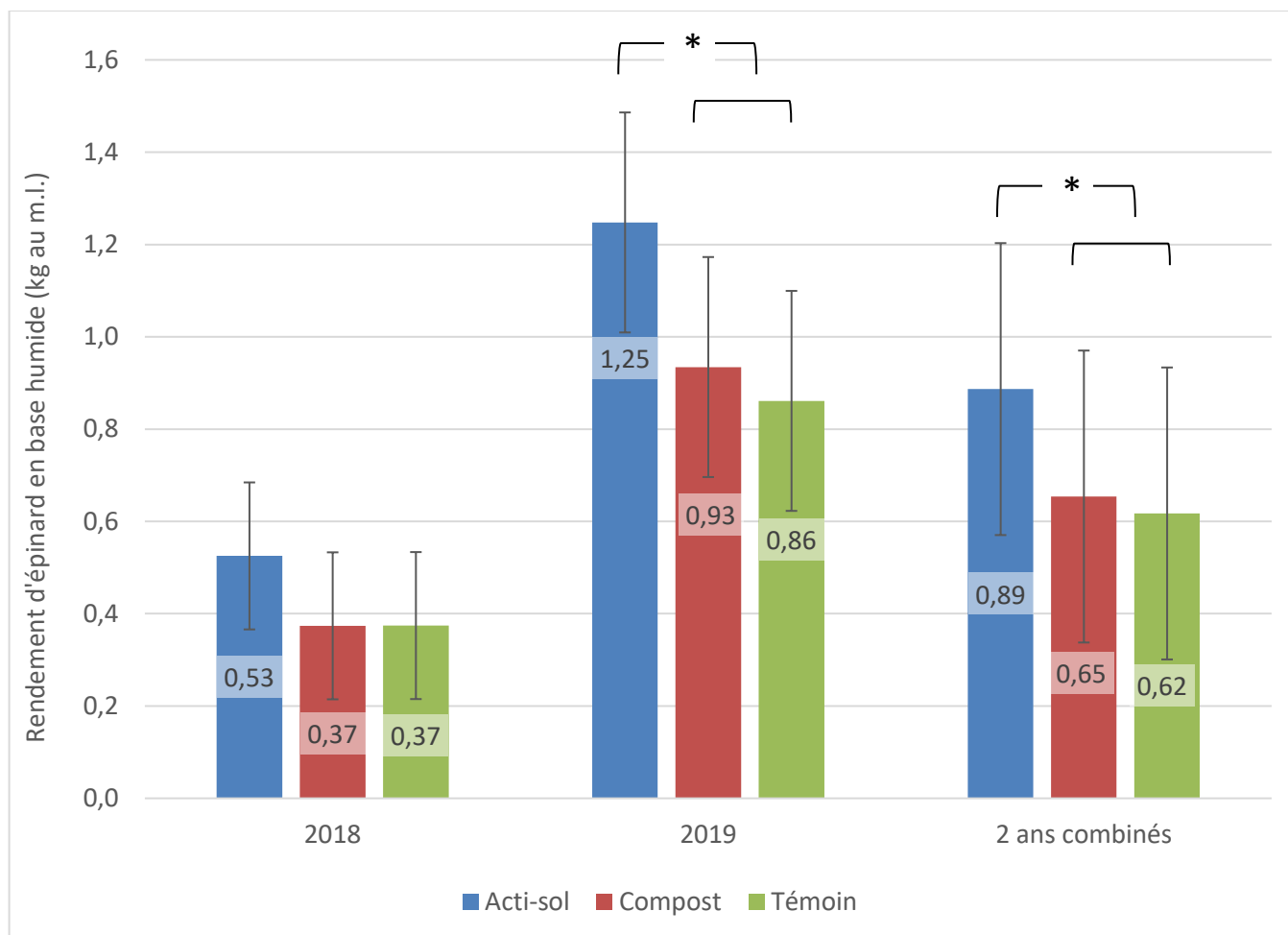


Figure 3.1.4. Rendements moyens d'épinard (base humide) selon le fertilisant organique. Notes : La barre d'erreur représente l'erreur-type. L'astérisque présente une différence significative à $P < 0.05$.

Les dommages causés par la fonte des semis ont été mesurés 13 jours après le semis pour les deux années de l'étude, en dénombrant le nombre de plants affectés dans un quadrat de $0,1 \text{ m}^2$ par parcelle. En moyenne, tous traitements confondus, 24 et 11 plants étaient affectés par quadrat, donc 240 et 110 plants par m^2 en 2018 et 2019, respectivement. En 2018, bien que plus de plants aient été affectés dans les parcelles ayant reçu du compost, les différences n'étaient pas statistiquement significatives. En 2019, un peu plus de plants endommagés ont été dénombrés dans les parcelles Acti-Sol®, mais l'analyse statistique a encore révélé que les différences n'étaient pas significatives. L'analyse des deux ans combinés a toutefois résulté en un effet significatif du fertilisant. En effet, les parcelles Compost ont révélé significativement plus de dommages que les parcelles Témoin, les parcelles Acti-Sol® étant semblables tant aux parcelles Compost qu'aux Témoin (Figure 3.1.5). Les tableaux 3.1.10 et 3.1.11 présentent le résumé du nombre de plants endommagés par fertilisant selon l'année, ainsi que les résultats de l'analyse de variance, respectivement. En considérant le taux de semis et la levée des épinards relativement uniformes dans l'ensemble du site, la population totale de plants est d'un peu plus de 1 000 plants au m^2 , ce qui peut servir de base de comparaison pour évaluer le taux de dommages.

Tableau 3.1.10. Nombre moyen de plants endommagés par la fonte des semis par m² pour les deux ans d'essais selon la fertilisation.

Traitement	Nombre moyen de plants affectés par m ²		
	2018	2019	2 ans combinés
Compost	90	110	100
Acti-Sol®	70	120	90
Témoin	70	90	80

Tableau 3.1.11. Tests des effets fixes de type 3 pour le nombre de plants affectés par m² par la fonte des semis dans l'épinard.

Effet	Probabilité (Pr > F)		
	Nombre de plants affectés		
	2018	2019	2 ans
Culture ce couverture (CC)	0.6098	0.9218	0.6604
Fertilisant (F)	0.0771	0.0604	0.0447
Interaction CC*F	0.3539	0.4327	0.0942

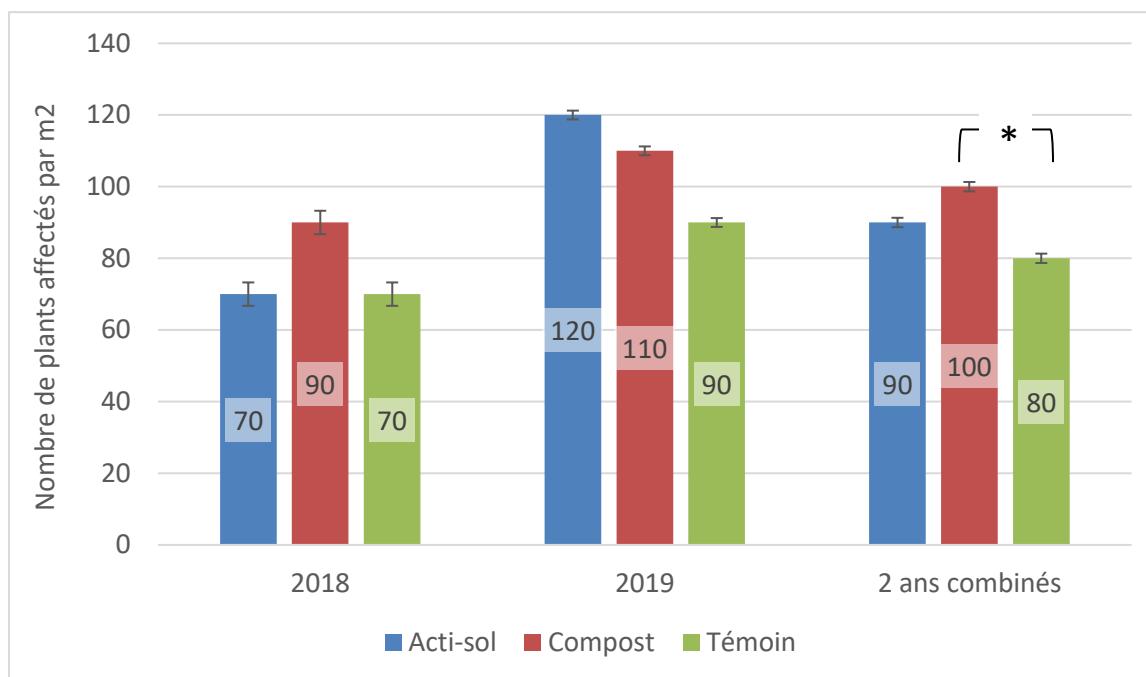


Figure 3.1.5. Nombre de plants d'épinards affectés par la fonte des semis selon le fertilisant organique et l'année.

Notes : La barre d'erreur représente l'erreur-type. L'astérisque présente une différence significative à P < 0.05.

À la récolte, un pourcentage de recouvrement d'épinard a été noté par parcelle à titre indicatif dans un quadrat de 0,1 m². Bien que davantage de recouvrement ait été observé dans les parcelles Acti-Sol® avec 48 et 69 % en

2018 et 2019, respectivement, aucune différence significative n'a été mesurée (Tableaux 3.1.12 et 3.1.13). Par contre, en combinant les deux ans, l'effet du fertilisant s'est révélé statistiquement significatif (Tableau 3.1.13). En effet, le pourcentage de recouvrement du sol en épinards dans les parcelles Acti-Sol® était significativement plus élevé que dans les deux autres traitements (Figure 3.1.6). Il est possible que les dommages de fonte des semis généralement plus élevés avec le Compost aient contribué aux rendements moindres comparativement au traitement Acti-Sol®, d'où les rendements et le recouvrement plus élevés dans celles-ci. Il ne faut cependant pas oublier qu'un apport de granules a été fait dans les traitements Compost et Acti-sol® au cycle d'épinard et ce, à la même dose. Ainsi, quelques hypothèses sont possibles. D'abord, il se peut que l'incidence de fonte des semis dans le traitement Compost soit associée à une plus haute teneur d'azote dans le sol (N résiduel issu du compost mis au printemps + apport de granules pour l'épinard). Aussi, il est possible que le compost contribue à stimuler la microflore du sol, dont les agents responsables de la fonte des semis et des microorganismes favorisant les rendements dans des cultures moins sensibles (laitue). Ces hypothèses n'ont cependant pas été évaluées. La culture de couverture n'a pas eu d'impact sur le taux de recouvrement en épinard et l'interaction des facteurs fertilisants et culture de couverture n'était pas statistiquement significative.

Tableau 3.1.12. Recouvrement moyen d'épinard à la récolte pour les deux ans d'essais selon la fertilisation.

Traitement	Recouvrement moyen d'épinard (%)		
	2018	2019	2 ans combinés
Compost	32	55	44
Acti-Sol®	48	69	58
Témoin	37	57	47

Tableau 3.1.13. Tests des effets fixes de type 3 pour le recouvrement d'épinard à la récolte.

Effet	Probabilité (Pr > F)		
	Recouvrement (%)		
	2018	2019	2 ans
Culture ce couverture (CC)	0.3686	0.9082	0.5317
Fertilisant (F)	0.3049	0.0781	0.0232
Interaction CC*F	0.9363	0.8840	0.9010

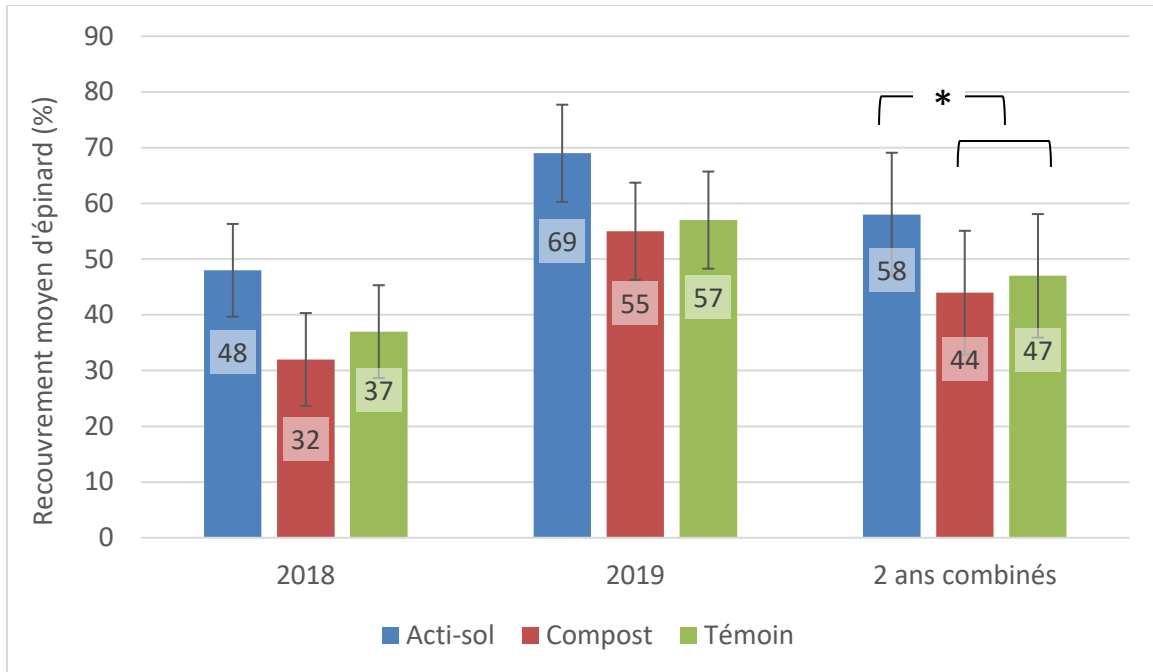


Figure 3.1.6. Recouvrement moyen (%) d'épinards à la récolte selon le fertilisant organique et l'année. Notes : La barre d'erreur représente l'erreur-type. L'astérisque présente une différence significative à $P < 0.05$.

3.2 ENTOMOLOGIE

Les essais de plantes attractives ont été faits uniquement dans la culture de l'épinard, car le ravageur ne s'attaque pas à la laitue romaine. Les années sont analysées séparément, car il y a eu des différences notables entre les deux années tel que le taux de germination des plantes attractives dans certaines parcelles, mais aussi par le fait que pour la deuxième année, il y a eu introduction volontaire d'altises à tête rouge dans le champ vue la faible pression du ravageur en 2018 (Figure 3.2.1).



Figure 3.2.1. Altises à tête rouge en élevage pour introduction au champ en 2019.

En 2018, les données de dénombrement d'altises à tête rouge prélevées dans les bandes florales ont été analysées par un modèle linéaire mixte généralisé avec une fonction de lien log pour un dénombrement de Poisson par la procédure GLIMMIX de SAS Version 9.4. Pour le 16 août 2018 (t0) uniquement, il y a eu des différences significatives entre les différents assemblages de plantes attractives ($F=4,36$; $df=8$, $p= 0,0423$) (Figure 3.2.2-haut). L'assemblage de trois espèces est significativement différent des assemblages de deux espèces ($p= 0,0177$) et du mélange floral ($p=0,0363$). La bande d'amarante rouge est significativement différente de la bande à deux espèces ($p=0,0475$).

En 2019, les données de dénombrement d'altises à tête rouge prélevées dans les plantes attractives ont été analysées par un modèle linéaire mixte généralisé avec une fonction de lien log pour un dénombrement de Poisson et des mesures répétées par la procédure GLIMMIX (SAS Version 9.4). Selon l'analyse, les effets des variables traitement et semaine sont significatifs, mais l'interaction entre ces deux variables ne l'est pas ($F= 18,73$; $df=3$; $p<0,0001$, $F=6,94$; $df=3$; $p=0,0010$, $F=1,09$; $df=9$; $p=0,3954$, respectivement). Puisque l'interaction n'est pas significative, il y a interprétation par test de t des différences deux à deux entre les moyennes des traitements. Toutes semaines confondues, il y a une différence significative entre les différents traitements à part pour le traitement avec l'amarante rouge et le traitement avec les 3 espèces ($p<0,0001$). En d'autres mots, le mélange floral attire davantage d'altises à tête rouge que les autres traitements (Figure 3.2.2-bas).

Puis, pour les données de 2019, à la suite d'un test statistique non paramétrique de Friedman avec une valeur Chi-2, $Q=1,1429$, $df= 4$ (SAS Version 9.4), il n'y a pas d'effets significatifs pour la présence des altises à tête rouge dans la culture d'épinards ($p= 0,8874$). La bande attractive, peu importe le traitement, n'affecte en rien la présence des altises à tête rouge dans les épinards adjacents.

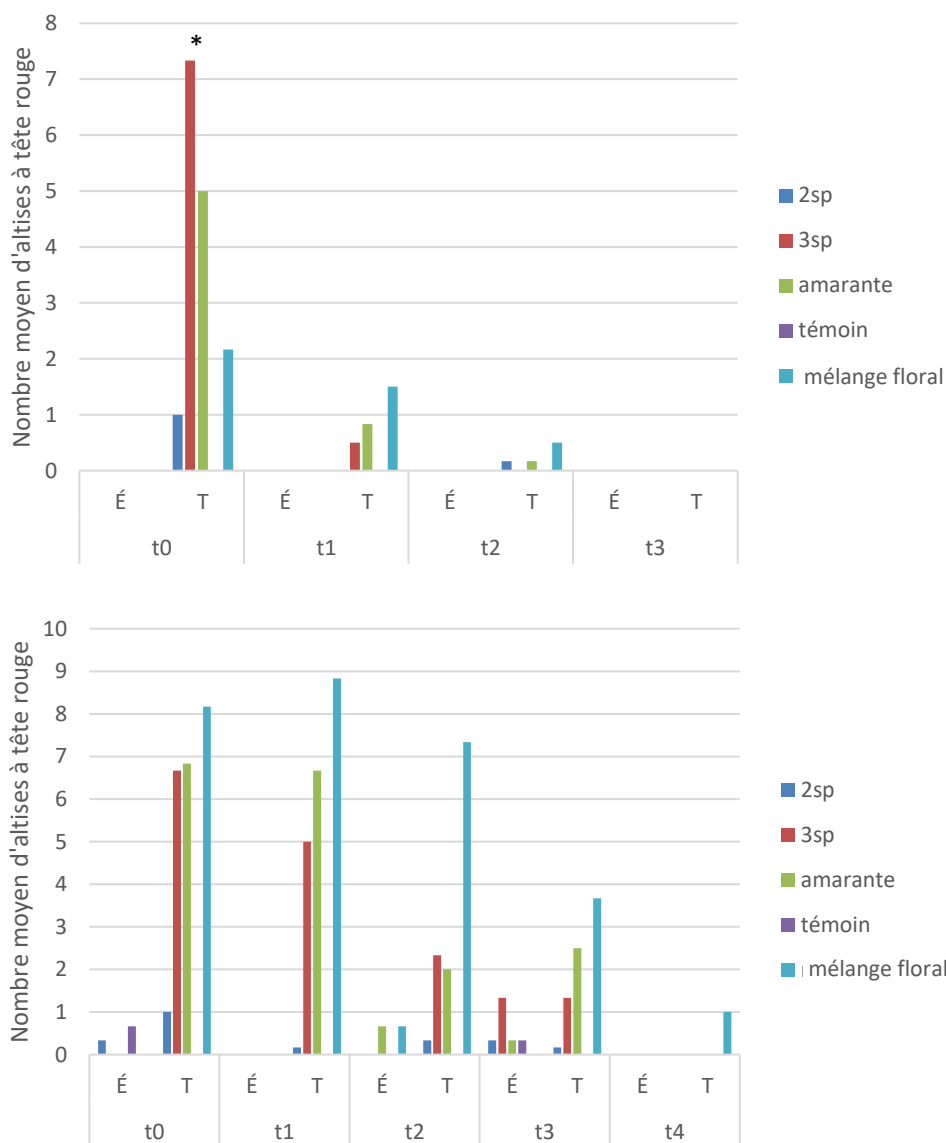


Figure 3.2.2. Nombre moyen d'altises à tête rouge (*S. frontalis*) dans la culture d'épinard (É) et dans les différentes bandes de plantes attractives (T) (2sp= 2 espèces, 3sp= 3 espèces) au semis et durant les semaines de production pour 2018 (haut) et 2019 (bas).

Les données liées aux dommages d'altises sur les épinards à la récolte pour les deux années sont présentées à la Figure 3.2.3. En 2018, les résultats ont été analysés avec un test Kruskal Wallis ($\alpha=0,05$) à partir du logiciel JMPin, 2013. Il y avait significativement plus de dommages d'altises dans la bande de plantes attractives composée de 3 espèces (moutarde, colza et amarante rouge), comparativement aux autres assemblages. En 2019, les résultats ont été analysés avec un modèle linéaire mixte généralisé avec une fonction de lien log pour une variable réponse de dénombrement et une distribution Poisson par la procédure GLIMMIX (SAS Version 9.4). Aucun des traitements n'a eu d'effet significatif ($F= 0,31$; $df=4$; $p=0,8510$) au niveau des dommages sur feuilles à la récolte.

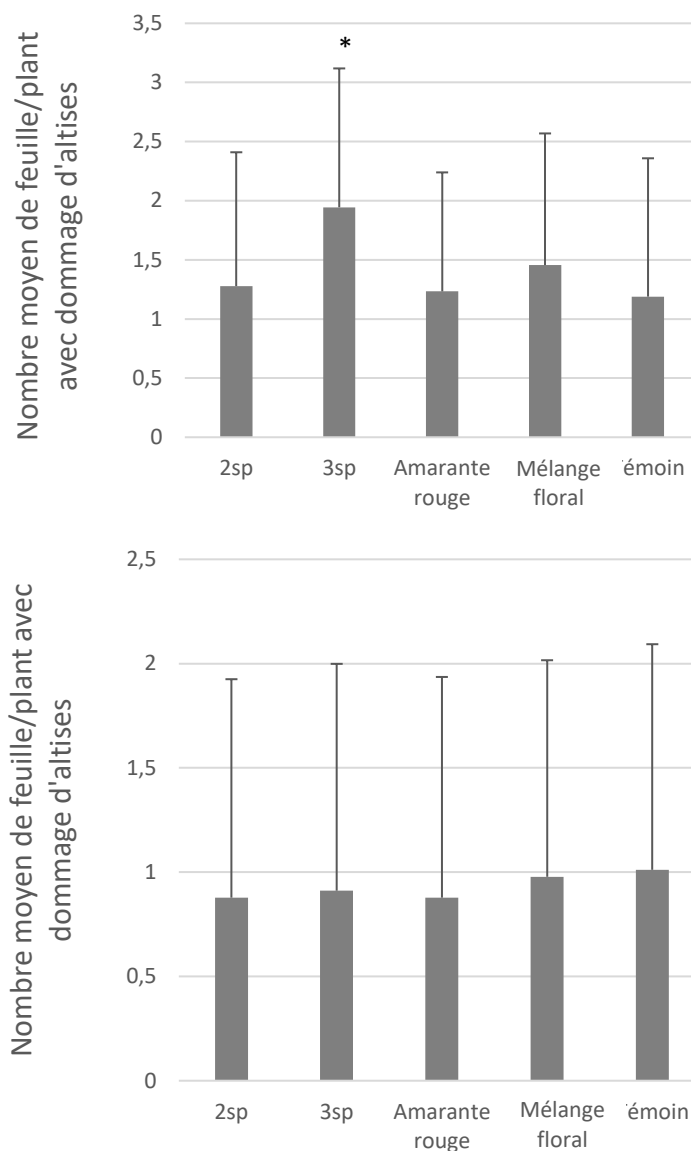


Figure 3.2.3. Nombre moyen de feuilles par plants d'épinards avec des dommages d'altises (\pm ET) à la récolte pour les différents assemblages de plantes attractives (2sp= 2 espèces, 3sp= 3 espèces) en 2018 (haut) et en 2019 (bas).

En 2018, il a été difficile de tirer des conclusions sur l'essai de plantes attractives pour contrôler l'altise à tête rouge, la pression de ce ravageur n'étant pas forte sur le site. En plus d'une faible pression de l'altise à tête rouge, la culture de l'épinard, comme prévue au projet, était le deuxième cycle de production plus tard en saison, ce qui n'a pas permis de se positionner temporellement pour avoir le cycle complet de l'adulte. La fin de la population a pu uniquement être dépistée. Cependant, il y avait définitivement une attirance des altises à tête rouge, ainsi que d'autres espèces d'altises vers des bandes florales avec plus de biodiversité (mélange de 3 espèces et mélange floral). Nous avons observé plus de dommages dans les parcelles adjacentes à ces bandes

dans la culture d'épinard, ce qui aurait pu être évité s'il y avait eu traitement phytosanitaire. Ainsi, les altises, ravageurs très mobiles, ont pu aller s'alimenter sur la production d'épinard dans la parcelle au centre.

En 2019, cette même tendance a été difficile à repérer, car la germination de la moutarde et du colza n'a pas été un succès. En revanche, le mélange floral, dont la germination s'est bien déroulée, en n'oubliant pas un désherbage pré-semis et une irrigation, a démontré un effet attractif pour l'altise à tête rouge. Bien que la bande de mélange floral attire davantage, il n'y a pas eu d'effet positif pour réduire les dommages sur les épinards.

Pour le bilan des deux saisons, il est possible de conclure que plus la bande de plantes est diversifiée, plus elle est attractive et ce, comparativement à l'amarante utilisée seule. Ces résultats concordent avec ceux de l'étude de Parker et *al.* (2012). Le traitement de trois espèces (moutarde, colza, amarante rouge) permet d'attirer aussi l'altise des crucifères et l'altise du navet. En effet, ces deux espèces sont toutes les deux très attirées par la moutarde et le colza. Ceci explique leur présence en grand nombre, dans les bandes où il y a ces deux plantes (deux espèces et trois espèces). Pour attirer l'altise à tête rouge, il est peut-être mieux d'envisager un mélange floral, dont toutes les espèces font parties des plantes hôtes du ravageur en question. Le coût pour cette bande florale n'est cependant pas négligeable, il serait peut-être intéressant de mélanger l'amarante rouge, les chrysanthèmes et les zinnias pour diminuer le coût de la bande de mélange floral (Tableau des coûts 2.3.2).

À la suite des deux années d'essais, il a été possible de conclure que la présence de mauvaises herbes et le manque d'eau sont deux variables très néfastes pour la germination des plantes attractives. La présence de mauvaises herbes tel que le pourpier potager dans les parcelles, peut aussi influencer la présence des altises. Il est important d'avoir une bonne gestion des mauvaises herbes et de l'irrigation pour pouvoir utiliser la méthode de lutte par les plantes attractives. Certains coûts de main d'œuvre sont donc à prévoir pour une gestion assidue des mauvaises herbes, ainsi que de l'irrigation à la suite des semis de ces bandes.

Finalement, l'utilisation d'une bande de plantes attractives diversifiées avec des plantes hôtes de l'altise à tête rouge peut être une avenue dans la gestion de ce ravageur (Méthode *Attrack*). Toutefois, pour avoir des impacts positifs sur la culture des épinards, il serait intéressant d'utiliser la méthode *Attrack and Kill*. Ainsi, lorsque les altises à tête rouge se retrouvent dans les bandes attractives, il peut y avoir application d'un produit phytosanitaires pour tuer le ravageur et limiter sa mobilité dans les épinards. Il est important de vérifier l'homologation des produits phytosanitaires pour utiliser cette méthode.

3.3 MALHERBOLOGIE

Les espèces de mauvaises herbes présentes sur le site 1 étaient le pourpier potager (*Portulaca oleracea* L.), le tabouret des champs (*Thlaspi arvense* L.), le rorippe d'Islande (*Rorippa islandica* (Oeder) Bord.), le chénopode blanc (*Chenopodium album* L.), l'amarante à racine rouge (*Amaranthus retroflexus* L.) et la potentille de Norvège (*Potentilla norvegica* L.). Les cultures de couverture et les modes de fertilisation organique n'ont pas influencé les populations de mauvaises herbes présentes au moment de la récolte pour le premier cycle de production en 2018 et 2019 (Figures 3.3.1, 3.3.2, 3.3.3, 3.3.4 et Tableau 3.3.1). Ces résultats sont légèrement différents de ceux

obtenus en 2017 lors de la production de laitue dans le même dispositif expérimental. Précédemment, les populations de mauvaises herbes étaient plus faibles dans les parcelles fertilisées.

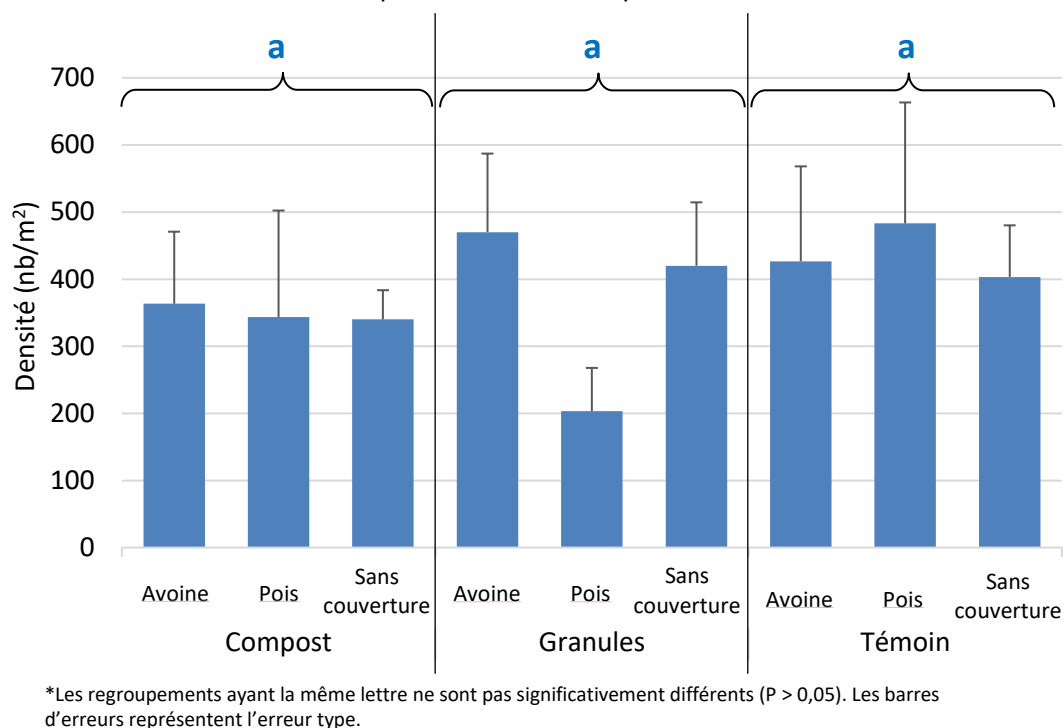


Figure 3.3.1. Densité de l'ensemble des mauvaises herbes à la récolte de la laitue en 2018.

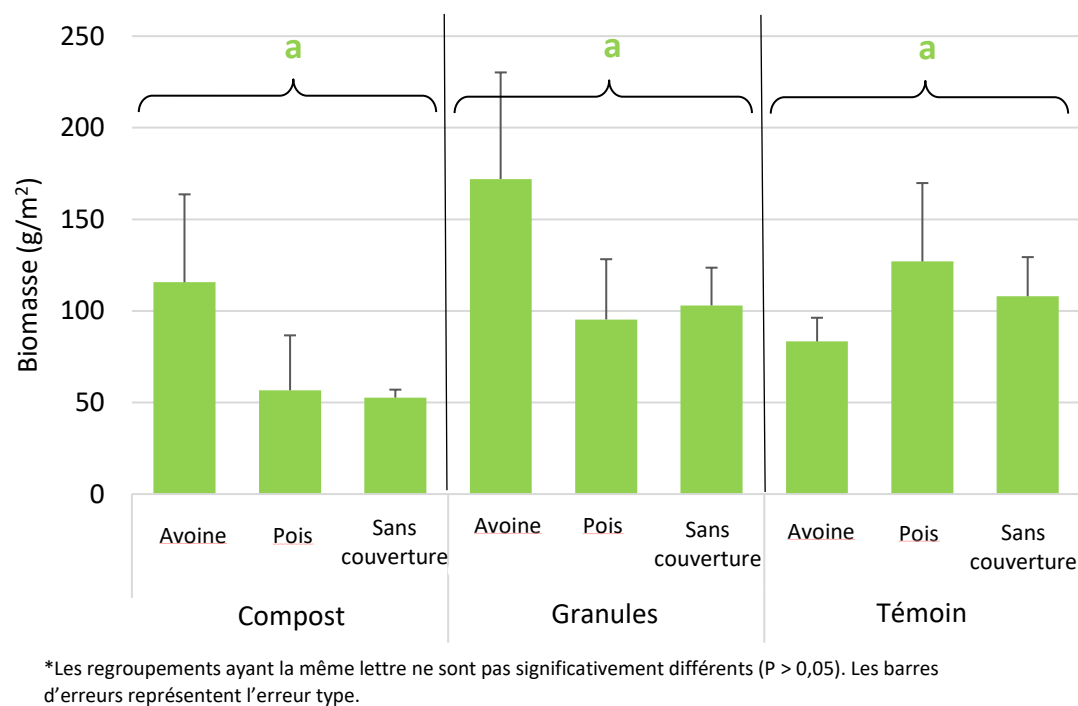


Figure 3.3.2. Biomasse de l'ensemble des mauvaises herbes à la récolte de la laitue en 2018.

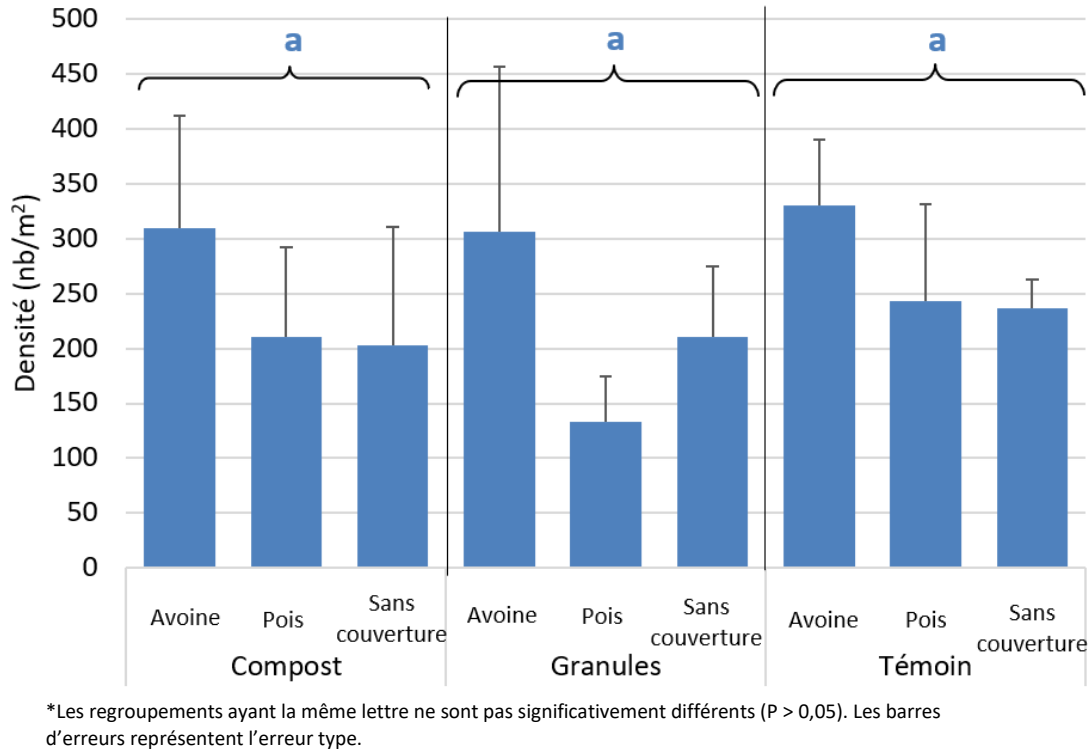


Figure 3.3.3. Densité de l'ensemble des mauvaises herbes à la récolte de la laitue en 2019.

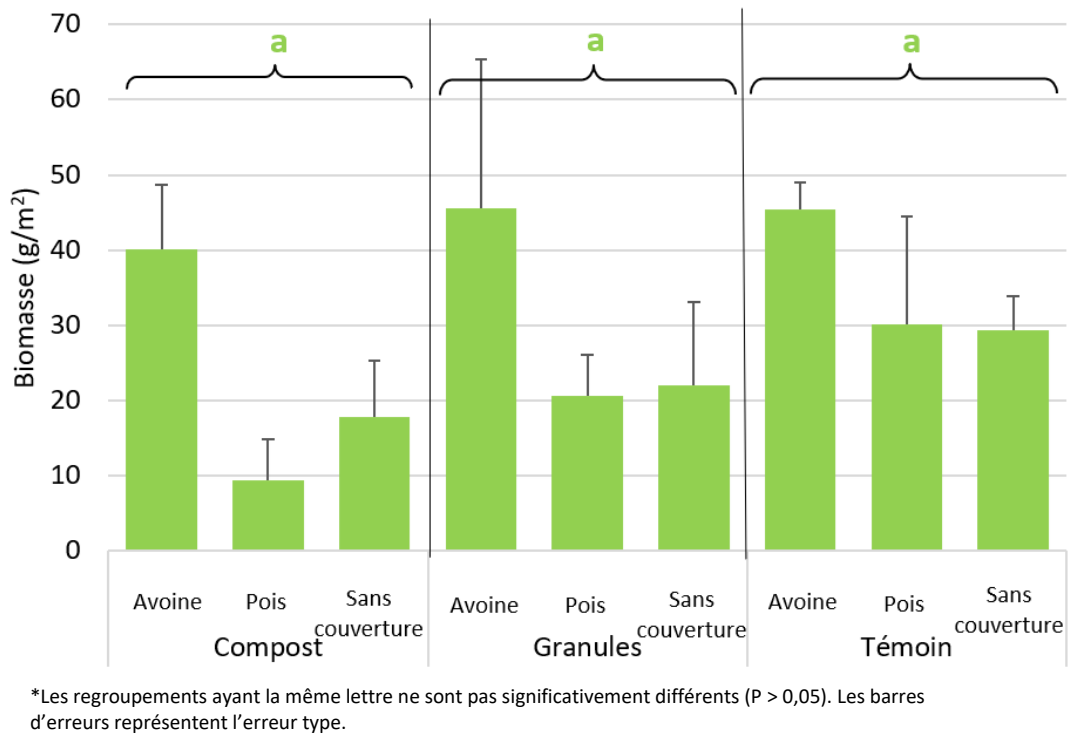


Figure 3.3.4. Biomasse de l'ensemble des mauvaises herbes à la récolte de la laitue en 2019.

Tableau 3.3.1. Analyse statistique de l'impact des facteurs à l'étude sur la densité et la biomasse des mauvaises herbes présentes à la récolte des laitues.

Facteurs	2018		2019	
	Densité	Biomasse	Densité	Biomasse
	(P > F)	(P > F)	(P > F)	(P > F)
Culture de couverture (CC)	0,878	0,465	0,272	0,101
Fertilisant organique (FO)	0,251	0,242	0,443	0,342
Interaction CC*FO	0,157	0,419	0,867	0,952

Les mauvaises herbes qui se sont établies dans le cycle de production d'épinard avaient une biomasse plus élevée dans les parcelles fertilisées au compost en 2018. Les cultures de couverture n'ont pas eu d'effet sur la densité et la biomasse des mauvaises herbes (Figures 3.3.5, 3.3.6 et Tableau 3.3.2). L'épinard était clairsemé, il est donc possible que les mauvaises herbes aient bénéficié de la fertilisation sans avoir subi la compétition de la culture. Cependant en 2019, les cultures de couverture et les modes de fertilisation organique n'ont pas influencé les populations de mauvaises herbes en production d'épinard (Figures 3.3.7, 3.3.8 et Tableau 3.3.2) au même titre que dans le cycle de production de laitue précédent.

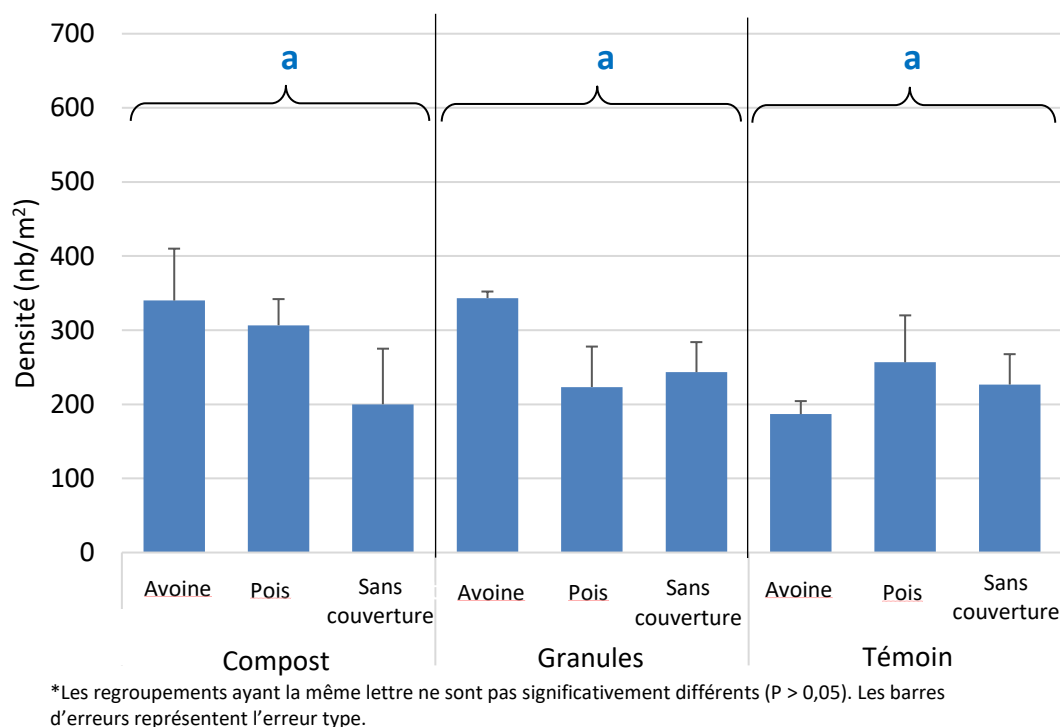


Figure 3.3.5. Densité de l'ensemble des mauvaises herbes à la récolte des épinards en 2018.

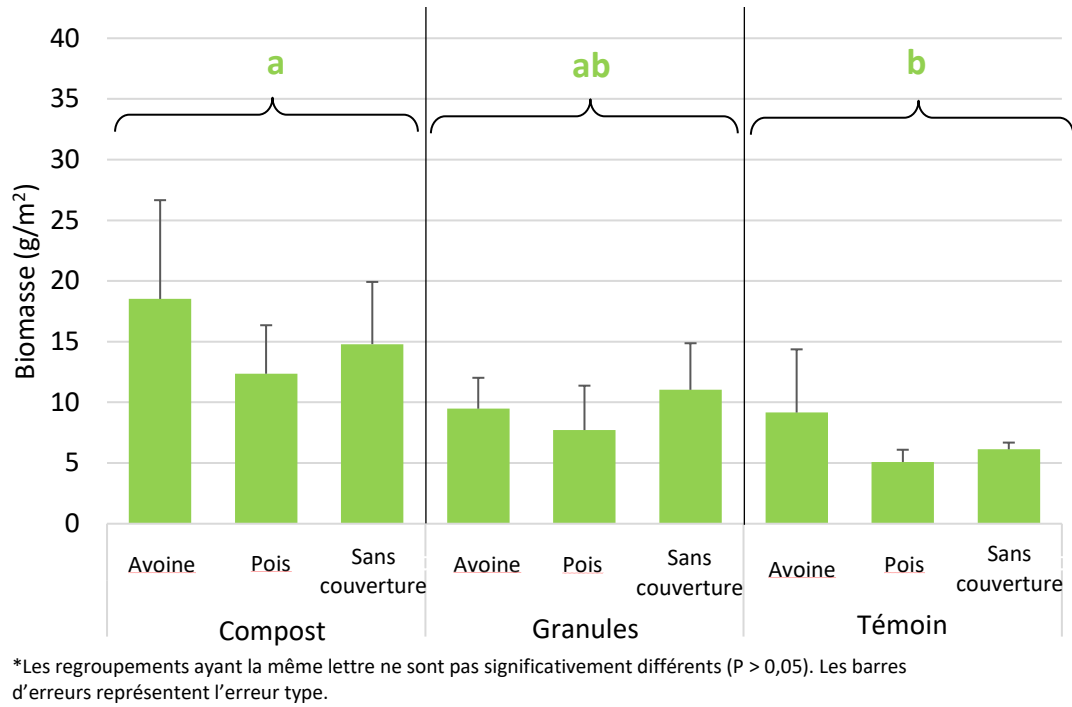


Figure 3.3.6. Biomasse de l'ensemble des mauvaises herbes à la récolte des épinards en 2018.

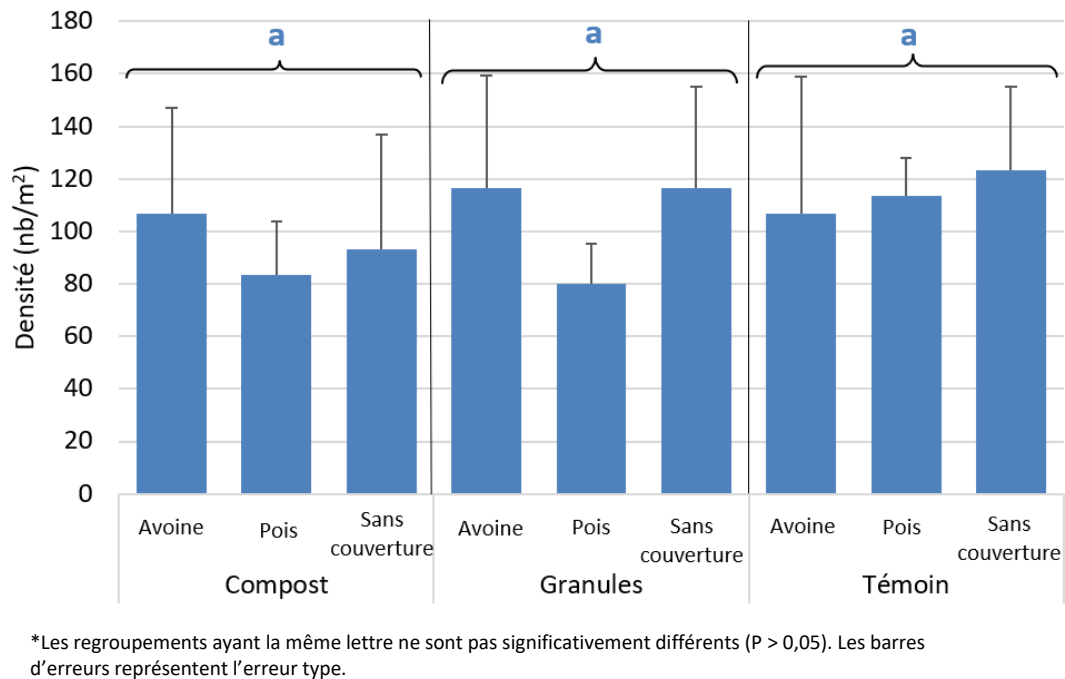
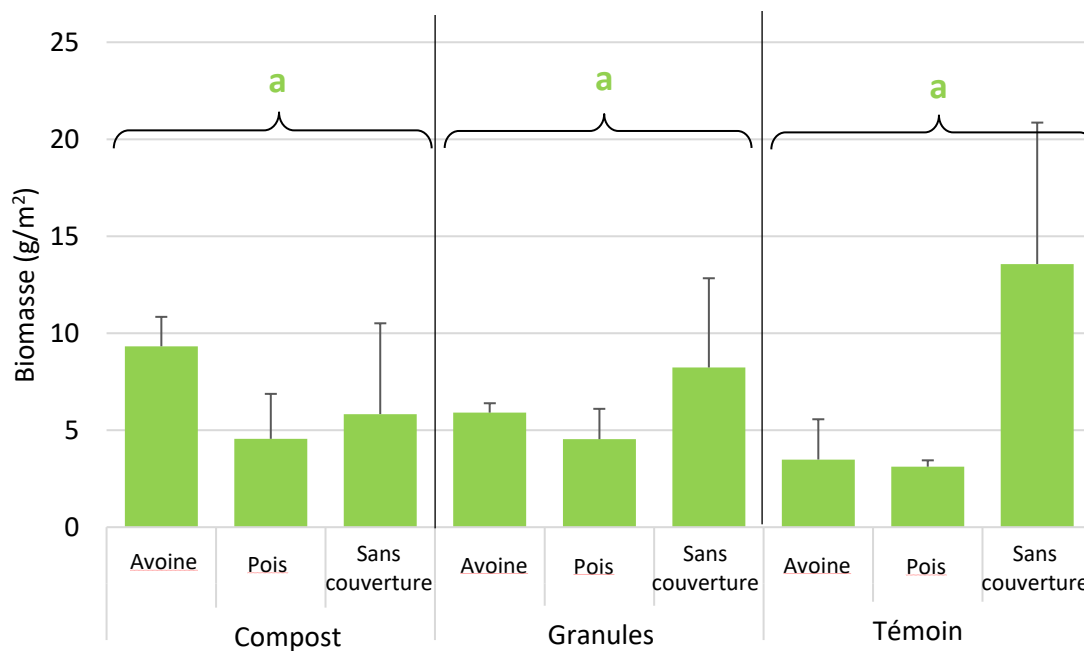


Figure 3.3.7. Densité de l'ensemble des mauvaises herbes à la récolte des épinards en 2019.



*Les regroupements ayant la même lettre ne sont pas significativement différents ($P > 0,05$). Les barres d'erreurs représentent l'erreur type.

Figure 3.3.8. Biomasse de l'ensemble des mauvaises herbes à la récolte des épinards en 2019.

Tableau 3.3.2. Analyse statistique de l'impact des facteurs à l'étude sur la densité et la biomasse des mauvaises herbes présentes à la récolte des épinards.

Facteurs	2018		2019	
	Densité	Biomasse	Densité	Biomasse
	(P > F)	(P > F)	(P > F)	(P > F)
Culture de couverture (CC)	0,146	0,814	0,654	0,326
Fertilisant organique (FO)	0,208	0,017	0,468	0,986
Interaction CC*FO	0,121	0,904	0,785	0,448

3.4 RÉGIE DE L'IRRIGATION

Les résultats présentés dans cette section concernent la saison de croissance 2018 uniquement.

Les apports en eau aux différentes cultures sont présentés dans le Tableau 3.4.1.

Tableau 3.4.1. Apports d'eau aux cultures par le système d'irrigation et les précipitations, 2018.

Cultures	Nb d'épisodes d'irrigation	Hauteur d'eau totale par irrigation (mm)	Hauteur d'eau totale par précipitation (mm)	Hauteur d'eau totale (mm)
Laitue romaine verte	6	42,8	78,0	120,8
Épinard	5	49,0	57,1	106,1

3.4.1 Consigne de déclenchement de l'irrigation (approche « Point tournant »)

Suite à un épisode de saturation en eau du sol et au ressuyage de celui-ci, l'évolution dans le temps de la tension sera habituellement linéaire. Cette relation ne sera plus linéaire lorsque les conditions hydriques du sol deviendront contraignantes pour la culture. La consigne de déclenchement d'un épisode d'irrigation peut être identifiée lorsque cette relation est observée et est décrite comme le « Point tournant » (PT) (Boivin et coll., 2018).

Les valeurs de tension ont pu être mesurées uniquement pour la culture de laitue romaine verte. L'absence de périodes suffisamment longues, avec peu ou pas de précipitations, et les dommages aux équipements, occasionnés par des animaux sauvages, ont fait en sorte qu'il est impossible d'observer le PT avec les données enregistrées pour la culture des épinards. Les valeurs de consignes de déclenchement PT sont présentées au tableau 3.4.2, ainsi que la représentation graphique à la Figure 3.4.1.

Tableau 3.4.2. Valeurs des consignes de déclenchement des épisodes d'irrigation par culture déterminée par l'approche du « Point tournant », 2018.

Cultures	Valeurs du « Point tournant » (kPa)
Laitue romaine verte	-25 à -30
Épinard	Non disponible

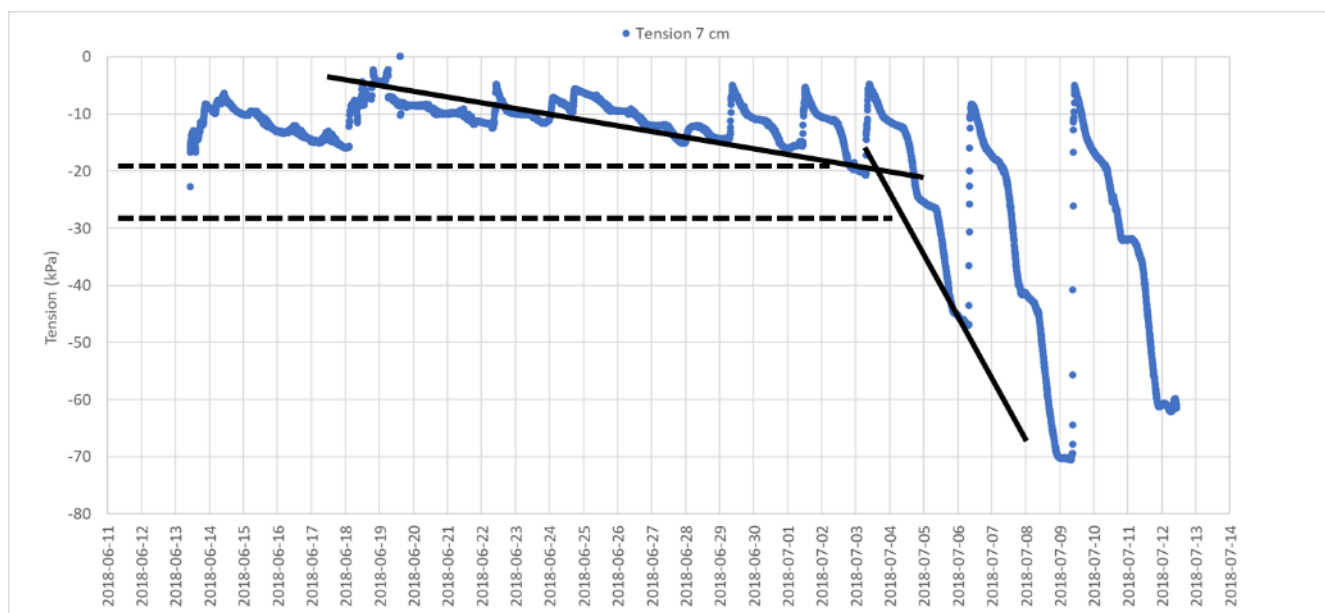


Figure 3.4.1. Détermination de la consigne de déclenchement de l'irrigation PT pour la laitue romaine verte, 2018.

L'évapotranspiration en eau des cultures (ETc) peut être estimée en observant les différences de teneur en eau quotidiennes pour la profondeur de sol colonisée par le système racinaire (Boivin et coll., 2018⁵). Cette information permet de connaître les quantités d'eau perdues quotidiennement par le système cultural. Les sondes qui mesurent la teneur en eau volumique du sol (TDR) permettent aussi de déterminer les prélèvements en eau pour chacune des profondeurs de sol considérées et de leur attribuer une proportion donnée du prélèvement total. La distribution de ces proportions dans les 30 premiers cm de sol permet de situer la zone où la majorité des prélèvements en eau sont effectués. Ces prélèvements peuvent être associés à la densité racinaire responsable de la majorité de la consommation en eau de la culture.

L'analyse des valeurs de teneur en eau, présentée aux Figures 3.4.2 et 3.4.3, permet d'estimer l'heure du début et de la fin des prélèvements en eau par la culture, ainsi que la quantité d'eau prélevée. Les prélèvements sont observables de 9 h à 20 h pour la laitue romaine verte et de 10 h à 20 h pour les épinards. Cette analyse doit être effectuée en absence d'apports en eau par les précipitations et l'irrigation, ainsi qu'à des valeurs de tension n'ayant pas atteint la consigne PT.

Les prélèvements peuvent ensuite être mis en rapport avec les valeurs quotidiennes respectives d'évapotranspiration potentielle (ETp), mesurées par la station météorologique, afin de calculer des coefficients culturaux (Kc) propres à la culture et à son milieu de croissance. Ces informations permettent une gestion de l'irrigation avec l'approche hybride (Tensiométrie et Bilan hydrique) (Boivin et coll., 2018). Des valeurs de Kc ont

⁵ Boivin, C. et coll., 2018. Gestion raisonnée de l'irrigation – Guide technique. Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec. 312 p.

pu ainsi être calculées pour quelques portions de la saison de croissance. Ces valeurs sont présentées en fonction de la période de développement de la culture. Ainsi, trois valeurs de K_c , propres à trois périodes, sont proposées : initiale, mi-saison et finale. La durée de croissance des différentes jeunes pousses cultivées dans ce projet, du semis à la récolte, est d'environ 30 jours. La période « initiale », d'environ 10 jours, correspond à la période de germination jusqu'à ce que la majorité des cotylédons soient complètement déployés. Les périodes « mi-saison » et « finale » sont réparties uniformément en deux durées de 10 jours chacune. Il faut toutefois considérer que ces valeurs de K_c seront influencées par la texture et la composition du sol, la densité de la culture, qui influence les pertes par évaporation, et la population de mauvaises herbes qui prélèvent également l'eau du sol. Ces valeurs sont présentées au Tableau 3.4.3. Ces dernières ne font référence qu'à une saison de croissance et les plages de valeurs présentées font référence aux différents points de mesure pour ce site. La détermination de valeurs de K_c sur plusieurs saisons devrait donc être envisagée afin d'en augmenter la précision. Toutefois, ces dernières sont un bon point de départ pour quiconque souhaiterait utiliser une méthode de gestion de l'irrigation qui inclut le bilan hydrique.

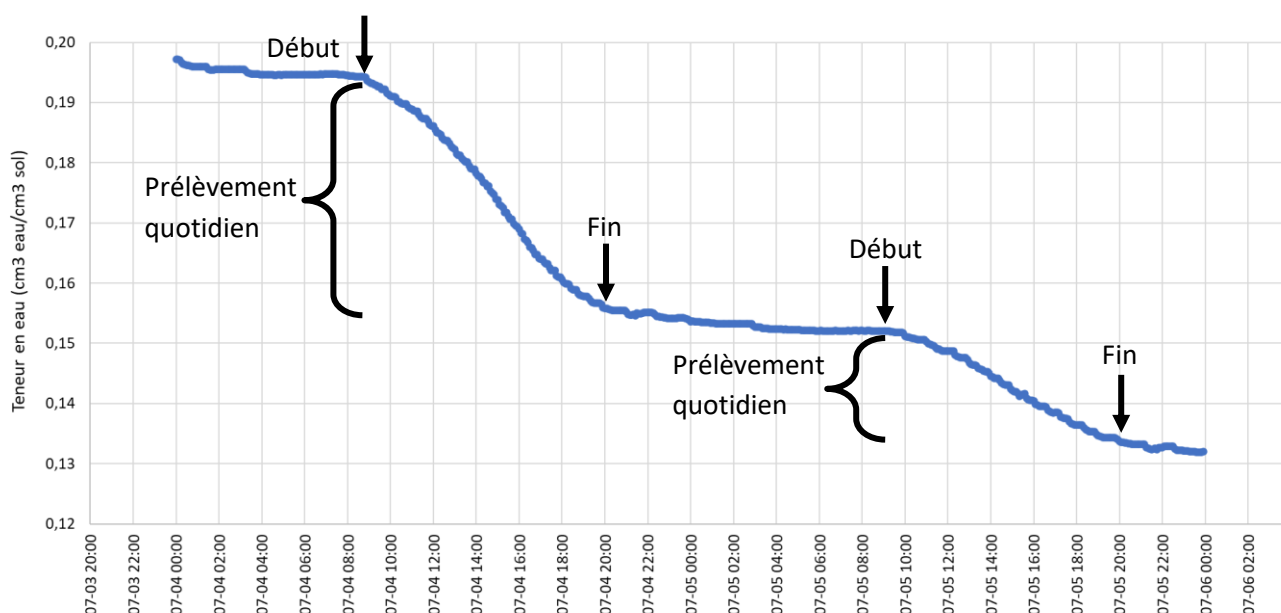


Figure 3.4.2. Détermination du prélèvement en eau de la culture avec la variation quotidienne de la teneur en eau du sol – Laitue romaine verte, 2018.

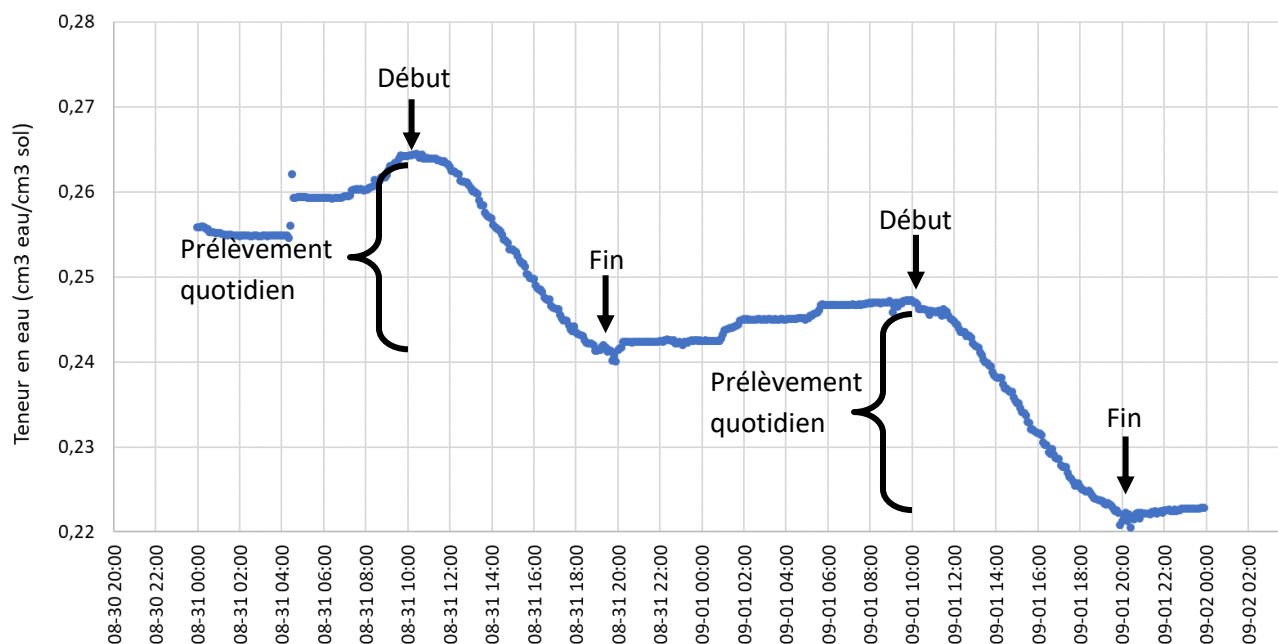


Figure 3.4.3. Détermination du prélèvement en eau de la culture avec la variation quotidienne de la teneur en eau du sol – Épinard, 2018.

Tableau 3.4.3. Coefficients culturaux (Kc), 2018.

Cultures	Kc		
	Initial	Mi-saison	Final
Laitue romaine verte	0,25 – 0,40	0,23 – 0,42	0,50 – 0,72
Épinard	Non disponible	0,57 – 0,59	0,63 – 0,73

La proportion des prélèvements en eau de la culture peut être distribuée selon les différentes strates de sol instrumentées avec les sondes de teneur en eau. Il est donc possible de visualiser sur quelle profondeur la majorité des prélèvements est effectuée. Cette profondeur correspond à la localisation du système racinaire. Cette information, observée dans le temps, permet d’apprécier le développement racinaire de la culture et renseigne sur le positionnement optimal du tensiomètre tout au long de la saison. L’évolution des prélèvements en eau pour les cultures est présentée aux Figures 3.4.4 et 3.4.5. Les prélèvements se font majoritairement à l’intérieur des strates de sol supérieures (0-5 et 0-10 cm) pour la plus grande partie de la saison pour la laitue romaine et pour l’ensemble de la saison avec les épinards. Les courbes de tendance démontrent que les prélèvements se déplacent en profondeur par la diminution de la proportion de prélèvement des strates 0-5 et 0-10 cm et par l’augmentation de celle des strates 0-20 et 0-30 cm. Par exemple pour la culture de laitue romaine verte, à partir du 5 et 6 juillet, la proportion de prélèvement provenant de la strate de sol 0-20 et 0-30 cm respectivement dépasse celles des strates 0-5 et 0-10 cm. Le nombre de jours après semis par rapport aux nombres de jours de culture où les prélèvements sont majoritairement observés dans les strates de sol supérieures est indiqué dans le Tableau 3.4.4. Ces observations amènent à suggérer que la profondeur de lecture

du tensiomètre ne devrait pas excéder les 10 cm afin d'assurer une gestion de l'irrigation optimale pour près de 75 % de la période de culture pour la laitue romaine verte. Cette profondeur pourrait être maintenue pour l'épinard pendant toute la saison de croissance étant donné la prédominance des prélèvements dans les dix premiers centimètres de sol pendant toute cette période. Effectivement, pour cette dernière culture, les proportions de prélèvement en eau des strates de sol 0-5 et 0-10 cm demeurent prédominantes. Ces résultats sont issus des données d'une seule saison. Pour augmenter la robustesse de ces observations, ces mesures devraient être réalisées pour d'autres saisons.

Tableau 3.4.4. Périodes avec prédominance des prélèvements en eau situés dans les strates de sol supérieures (0-5 cm et 0-10 cm) par la culture, 2018.

Cultures	Période avec prédominance des prélèvements pour les strates de sol supérieures (nb jours)	Période totale de culture (nb jours)
Laitue romaine verte	22	30
Épinard	24	24

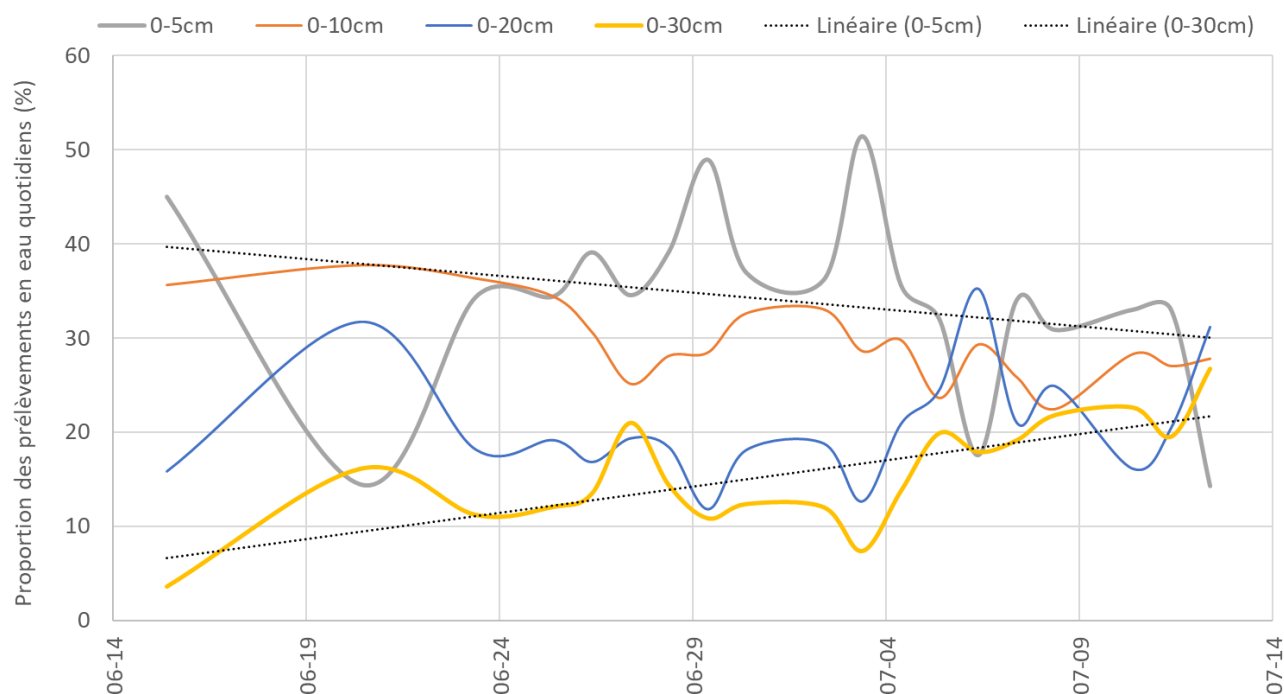


Figure 3.4.4. Proportion des prélèvements en eau quotidiens par strate de sol pour la culture de laitue romaine verte, 2018.

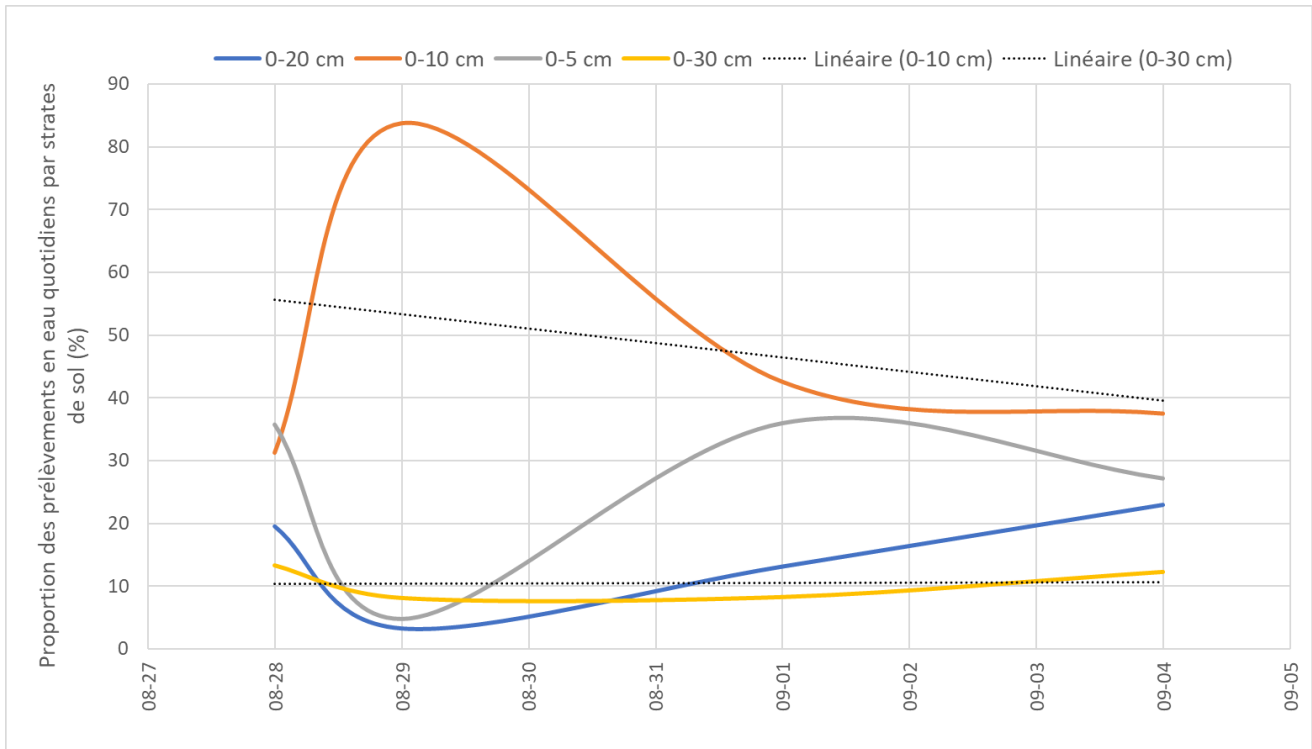


Figure 3.4.5. Proportion des prélèvements en eau quotidiens par strate de sol pour la culture d'épinard, 2018.

ANNEXE A – OPÉRATIONS AU CHAMP 2018 ET 2019

Opérations	Dates	Détails
Semis des cultures de couverture	15 septembre 2017	Pois fourrager ou avoine <ul style="list-style-type: none"> • 150 kg/ha
Incorporation des résidus de cultures de couverture	7 mai 2018	Rotoculteur
Préparation des buttes	16 mai 2018	Butteuse
Épandage des fertilisants	16 mai 2018	Parcelles Compost <ul style="list-style-type: none"> • Fumier de bovins composté (38 T/ha) Parcelles Acti-Sol® <ul style="list-style-type: none"> • Acti-Sol® (950 kg/ha) + K-Mag standard (638 kg/ha) Parcelles Témoin sans N <ul style="list-style-type: none"> • K-Mag standard (840 kg/ha)
Finition des buttes	16 mai 2018	Rotobutteuse
Faux semis 1	24 mai 2018	Herse étrille et plaque lissante
Faux semis 2	30 mai 2018	Herse étrille et plaque lissante
Préparation du sol pour semis	12 juin 2018	Herse étrille et plaque lissante
Semis de la laitue romaine	12 juin 2018	Variété Kalista
Irrigations	12, 22, 29 juin 2018 1 ^{er} , 3, 9 juillet 2018	
Récoltes	10 et 12 juillet 2018	30 jours de production
Destruction du haut des buttes	13 juillet 2018	Rotoculteur
Préparation des buttes	19 juillet 2018	Butteuse
Épandage des fertilisants	19 juillet 2018	Parcelles Compost et Acti-Sol® <ul style="list-style-type: none"> • Acti-Sol® 830 kg/ha
Finition des buttes	19 juillet 2018	Rotobutteuse
Semis des plantes trappes	20 juillet 2018	
Faux semis 1	23 juillet 2018	Herse étrille et plaque lissante
Faux semis 2	31 juillet 2018	Herse étrille et plaque lissante
Biofongicide	2 août 2018	Serenade Soil <ul style="list-style-type: none"> • 14 L/ha

Faux semis 3	6 août 2018	Herse étrille et plaque lissante
Faux semis 4	9 août 2018	Herse étrille et plaque lissante
Préparation du sol pour semis	13 août 2018	Herse étrille et plaque lissante
Semis de l'épinard	14 août 2018	Variété Sioux
Irrigations	15, 16, 19, 21, 23 août 2018	
Récolte	7 septembre 2018	24 jours de production
Destruction du haut des buttes	7 septembre 2018	Rotoculteur
Préparation du sol et Semis des cultures de couverture	10 septembre 2018	Vibroculteur Pois fourrager ou avoine <ul style="list-style-type: none"> • 150 kg/ha

Opérations	Dates	Détails
Travail du sol	9 mai 2019	Vibroculteur
Préparation des buttes	17 mai 2019	Butteuse
Épandage des fertilisants	17 et 22 mai 2019	Parcelles Compost <ul style="list-style-type: none"> • Fumier de bovins composté (26 T/ha) Parcelles Acti-Sol® <ul style="list-style-type: none"> • Acti-Sol® (1,1 T/ha) + Sul-po-mag (710 kg/ha) Parcelles Témoin sans N <ul style="list-style-type: none"> • Sul-po-mag (840 kg/ha)
Finition des buttes	22 mai 2019	Rotobutteuse
Faux semis 1	29 mai 2019	Herse étrille et plaque lissante
Faux semis 2	4 juin 2019	Herse étrille et plaque lissante
Préparation du sol pour semis	10 juin 2019	Herse étrille et plaque lissante
Semis de la laitue romaine	13 juin 2019	Variété Kalista
Irrigations	19, 23, 28 juin 2019 3, 5, 9 juillet 2019	
Désherbage manuel	2 et 3 juillet 2019	11 personnes * 16 heures
Récoltes	9 juillet 2019	30 jours de production
Destruction du haut des buttes	10 juillet 2019	Rotoculteur
Préparation des buttes	23 juillet 2019	Butteuse

Épandage des fertilisants	23 juillet 2019	Parcelles Compost et Acti-Sol® • Acti-Sol® 950 kg/ha
Finition des buttes	23 juillet 2019	Rotobutteuse
Semis de la moutarde, colza et amarante rouge	25 juillet 2019	Semoir Gandhi
Semis du mélange floral	26 juillet 2019	Semoir manuel
Faux semis 1	29 juillet 2019	Herse étrille et plaque lissante
Faux semis 2	1 ^{er} août 2019	Herse étrille et plaque lissante
Biofongicide	5 août 2019	Serenade Soil • 14 L/ha
2^e semis de moutarde, colza, amarante rouge et certaines fleurs	6 août 2019	Semoir Gandhi
Faux semis 3	6 août 2019	Herse étrille et plaque lissante
Semis de l'épinard	9 août 2019	Variété Sioux
Irrigations	15, 16, 27 août	
Lâcher des altises à tête rouge	16 août 2019	
3^e semis de moutarde et colza	19 août 2019	Semoir Gandhi
Désherbage manuel	26 août 2019	7 personnes * 4 heures
Récolte	5 septembre 2019	27 jours de production
Destruction du haut des buttes	6 septembre 2019	Rotoculteur
Préparation du sol et Semis des cultures de couverture	9 septembre 2019	Vibroculteur
	12 septembre 2019	Pois fourrager ou avoine • 150 kg/ha

ANNEXE B – SUIVI DU CHAMP EN PHOTOS



Épandage d'Acti-Sol®.



Herse étrille et plaque lissante utilisées lors des faux semis.



Levée de la laitue romaine – 19 juin 2018.



Laitue à la récolte – 12 juillet 2018.



Levée de l'épinard – 20 août 2018.



Exemple de dommages causés par la fonte des semis dans l'épinard – 24 août 2018.



Bande attractive d'amarante rouge et de moutarde-colza dans la culture d'épinard - 24 août 2018.





Bande attractive du mélange floral dans la culture d'épinard - 24 août 2018 (à droite : 7 septembre 2018).



Épinard à la récolte – 7 septembre 2018.



Rotoculteur servant à détruire le haut des buttes.



Couverture d'avoine – 16 octobre 2018.



Couverture de pois fourrager – 16 octobre



Irrigation de la laitue romaine – 19 juin 2019.



Laitue romaine – 4 juillet 2019.



Récolte de laitue romaine – 9 juillet 2019.



Épinard à la récolte - 5 septembre 2019.

SECTION 2

SITE 2. CONTRÔLE DES RAVAGEURS ET DES MAUVAISES HERBES

SECTION 2. SITE 2 – CONTRÔLE DES RAVAGEURS ET DES MAUVAISES HERBES

Table des matières

1	Objectifs	62
2	Méthodologie	63
2.1	Dispositifs expérimentaux	63
2.2	Fertilisation et productivité des systèmes	68
2.2.1	Variables mesurées.....	68
2.3	Entomologie	69
2.3.1	Dépistage entomologique	69
2.3.2	Choix des bioinsecticides et des prédateurs naturels	72
2.3.3	Méthodes de contrôle des ravageurs.....	75
2.3.4	Données prises à la récolte.....	78
2.4	Malherbologie	79
2.4.1.	Modélisation de la levée des mauvaises herbes au champ	79
2.4.2.	Opération de faux semis.....	80
2.4.3.	Analyse statistique - Modélisation	83
2.4.4.	Analyse statistique - Opération de faux semis	85
2.5	Régie de l'irrigation	87
3	Résultats	88
3.1	Productivités des systèmes	88
3.1.1	Caractérisation des cultures de couverture	88
3.1.2	Caractérisation des fertilisants.....	88
3.1.3	Rendements de laitue romaine rouge.....	89
3.1.4	Rendements de roquette	91
3.2	Entomologie	93
3.3	Malherbologie	97
3.3.1	Modélisation de la levée des mauvaises herbes au champ	97
3.3.2.	Opérations de faux semis	112

3.3.3.	Population de mauvaises herbes dans les cultures.....	120
3.4	Régie de l'irrigation	124
3.4.1	Consigne de déclenchement de l'irrigation (approche « Point tournant »).....	124
	Annexe A – Opérations au champ en 2018 et 2019	130
	Annexe B – Paramètres des courbes de levée modélisées.....	133
	Annexe C – Suivi du champ en photos.....	139

Liste des Tableaux

Tableau 2.2.1.	Résumé des doses de fertilisants appliquées en 2018 et 2019	68
Tableau 2.2.2.	Résumé des éléments fertilisants apportés en 2018 et 2019	68
Tableau 2.3.1.	Ravageurs des jeunes pousses de laitues romaines rouges et de la roquette avec leur seuil d'intervention agronomique (2018).....	71
Tableau 2.3.2.	Calendrier de dépistage des ravageurs (OMAFRA, 2018).....	72
Tableau 2.3.3.	Liste des bioinsecticides admissibles contre les ravageurs retrouvés dans la laitue et la roquette.	73
Tableau 2.3.4.	Modes d'utilisation, coûts et proies potentielles selon le prédateur naturel.....	74
Tableau 2.3.5.	Complémentarité théorique entre les prédateurs naturels et les bioinsecticides potentiels.....	75
Tableau 2.3.6.	Configuration du pulvérisateur pour les applications de bioinsecticides.....	77
Tableau 2.3.7.	Choix des bioinsecticides par ravageur et par culture pour la régie avec produits phytosanitaires uniquement	77
Tableau 2.3.8.	Choix des bioinsecticides ou des prédateurs naturels par ravageur et par culture pour la régie phytosanitaire mixte en 2018	78
Tableau 2.3.9.	Choix des bioinsecticides ou des prédateurs naturels par ravageur et par culture pour la régie phytosanitaire mixte en 2019	78
Tableau 2.4.1.	Description des traitements dans le protocole de modélisation en 2018 et 2019.....	79
Tableau 2.4.2.	Paramètres de réalisation des opérations de faux semis et de traitement herbicide en 2018.....	82
Tableau 2.4.3.	Températures cardinales, seuils d'humidité reliés à la germination et données utilisées pour calculer le temps hydrothermal (HTT) pour chacune des espèces à l'étude.....	84
Tableau 3.1.1.	Biomasses sèches des cultures de couverture de 2017 à 2019.	88
Tableau 3.1.2.	Caractérisation physico-chimique des fertilisants appliqués en 2018.....	88
Tableau 3.1.3.	Caractérisation physico-chimique des fertilisants appliqués en 2019.....	89
Tableau 3.1.4.	Tests des effets fixes de type 3 pour la laitue romaine rouge en 2019	90
Tableau 3.1.5.	Tests des effets fixes de type 3 pour les rendements estimés de roquette en 2018	92
Tableau 3.1.6.	Rendements estimés de roquette en 2018 selon le facteur étudié.....	92

Tableau 3.1.7. Tests des effets fixes de type 3 pour les rendements de roquette en 2019.....	93
Tableau 3.1.8. Rendements estimés de roquette en 2019 selon le facteur étudié.....	93
Tableau 3.3.1. Analyse statistique de l'impact des facteurs à l'étude sur l'efficacité des interventions de faux semis dans le cycle de production de laitue frisée en 2018.....	112
Tableau 3.3.2. Analyse statistique de l'impact des facteurs à l'étude sur l'efficacité des interventions de faux semis dans le cycle de production de roquette en 2018.....	115
Tableau 3.3.3. Analyse statistique de l'impact des facteurs à l'étude sur l'efficacité des interventions de faux semis selon les dates d'interventions et les différentes espèces de mauvaises herbes en 2019.....	117
Tableau 3.3.4. Analyse statistique de l'efficacité des équipements utilisés pour réaliser les faux semis selon les dates d'interventions et les différentes espèces de mauvaises herbes en 2019.....	118
Tableau 3.3.5. Analyse statistique de l'impact des facteurs à l'étude sur la densité des mauvaises herbes présentes avant les opérations de faux semis selon les dates d'interventions et les différentes espèces dominantes en 2019.....	119
Tableau 3.3.6. Densité des mauvaises herbes présentes avant les opérations de faux semis selon les dates d'interventions et les différentes espèces dominantes.	120
Tableau 3.4.1 Apports d'eau aux cultures par le système d'irrigation et les précipitations, 2019	124
Tableau 3.4.2 Coefficients culturaux (Kc), 2019.....	127
Tableau 3.4.3 Périodes avec prédominance des prélèvements en eau situés dans les strates de sol supérieures (0-5 cm et 0-10 cm) par la culture, 2019.....	129

Liste des Figures

Figure 2.1.1. Dispositif expérimental associé aux essais de malherbologie en 2018.	64
Figure 2.1.2. Dispositif expérimental associé aux essais de malherbologie en 2019.	65
Figure 2.1.3. Dispositif expérimental associé aux essais d'entomologie en 2018.	66
Figure 2.1.4. Dispositif expérimental associé aux essais d'entomologie en 2019.	67
Figure 2.3.1. Quadrat de 15 cm de diamètre utilisé pour le dépistage entomologique en 2018.....	70
Figure 2.3.2. Le dépistage entomologique visuel a été utilisé en 2019 en observant aléatoirement 25 plants par parcelle, ainsi que 100 feuilles observées pour quantifier l'augmentation des dommages	70
Figure 2.3.3. Installation des pièges collants sur arceau : le piège bleu est utilisé pour le dépistage des thrips et le piège jaune pour le dépistage des altises et des pucerons.....	71
Figure 2.3.4. Dispositif de lâchers des prédateurs naturels : œufs de chrysope verte avec œufs d' <i>Ephestia</i> sp. (haut) et acariens prédateurs (bas)	76
Figure 2.3.5. Plants de roquette complets lors du décompte des dommages sur feuilles.....	78
Figure 2.4.1. Sarcleur à cages et plaque lissante utilisées pour effectuer les faux semis.....	80

Figure 2.4.2. A) Pulvérisation de bioherbicide à base de vinaigre blanc à l'aide d'un pulvérisateur à rampe. B) Patron de pulvérisation.	81
Figure 3.1.1. Rendements moyens de laitue romaine rouge mesurés en 2019 selon le type de sarcleur et le nombre d'irrigations durant les faux semis.....	89
Figure 3.1.2. Effet du nombre d'irrigation sur la teneur en matières sèches des feuilles de laitue rouge selon le type de sarcleur en 2019.	91
Figure 3.2.1. Pourcentage moyen de feuilles de roquette endommagées lors du dépistage par traitement et par date pour 2018 (haut) et pour 2019 (bas).....	95
Figure 3.2.2. Nombre moyen de feuilles avec dommages (\pm ET) par plant pour les différentes régies de protection phytosanitaire à la récolte.....	96
Figure 3.3.1. Levée cumulative de l'ensemble des mauvaises herbes en fonction des dates d'observation en 2018.	99
Figure 3.3.2. Levée cumulative de l'ensemble des mauvaises herbes en fonction des dates d'observation en 2019.	100
Figure 3.3.3. Levée ponctuelle observée du <i>Chenopodium album</i> en terre organique en 2018 et 2019.	101
Figure 3.3.4. Levée ponctuelle observée du <i>Portulaca oleracea</i> et en terre organique en 2018 et 2019	102
Figure 3.3.5. Levée ponctuelle observée du <i>Capsella Bursa-pastoris</i> en terre organique en 2018 et 2019.....	103
Figure 3.3.6. Levée du <i>Chenopodium album</i> en terre organique en fonction de l'accumulation de temps hydrothermal depuis le dernier travail de sol.....	106
Figure 3.3.7. Levée de <i>Portulaca oleracea</i> en terre organique en fonction de l'accumulation de temps hydrothermal depuis le dernier travail de sol.....	107
Figure 3.3.8 Levée de <i>Capsella Bursa-pastoris</i> en terre organique en fonction de l'accumulation de temps hydrothermal depuis le dernier travail de sol.....	108
Figure 3.3.9. Levées observées et prédites de <i>Chenopodium album</i> sur planches de production de laitue en 2019 selon les interventions de travail de sol.....	109
Figure 3.3.10. Levées observées et prédites de <i>Capsella Bursa-pastoris</i> sur planches de production de laitue en 2019 selon les interventions de travail de sol.....	110
Figure 3.3.11. Levées observées et prédites de <i>Portulaca oleracea</i> sur planches de production de laitue en 2019 selon les interventions de travail de sol.....	111
Figure 3.3.12. Efficacité des interventions de faux semis dans la laitue frisée en 2018.....	113
Figure 3.3.13. Sélectivité de l'herbicide vinaigre blanc (12 % acide acétique), avec ajout ou non de 3 % (v/v) de savon neutre	114
Figure 3.3.14. Efficacité des interventions de faux semis dans les jeunes pousses de roquette en 2018	115
Figure 3.3.15. Sélectivité de l'herbicide vinaigre blanc (12 % acide acétique) et savon neutre (3 %).....	116
Figure 3.3.16. Densité de l'ensemble des mauvaises herbes dans les jeunes pousses de roquette à la récolte en 2018, en fonction des différents facteurs à l'étude.	121

Figure 3.3.17. Densité de l'ensemble des mauvaises herbes dans les jeunes pousses de roquette la récolte en 2018, en fonction des différents facteurs à l'étude	121
Figure 3.3.18. Densité de l'ensemble des mauvaises herbes dans les jeunes pousses de laitue à la récolte en 2019 en fonction des différents facteurs à l'étude	122
Figure 3.3.19. Biomasse de l'ensemble des mauvaises herbes dans les jeunes pousses de laitue à la récolte en 2019 en fonction des différents facteurs à l'étude.....	122
Figure 3.3.20. Densité de l'ensemble des mauvaises herbes dans les jeunes pousses de roquette à la récolte en 2019 en fonction des différents facteurs à l'étude.	123
Figure 3.3.21. Biomasse de l'ensemble des mauvaises herbes dans les jeunes pousses de roquette à la récolte en 2019 en fonction des différents facteurs à l'étude.....	123
Figure 3.4.1. Détermination de la consigne de déclenchement de l'irrigation PT pour la laitue romaine rouge, 2019.....	125
Figure 3.4.2. Détermination du prélèvement en eau de la culture avec la variation quotidienne de la teneur en eau du sol – Laitue romaine rouge, 2019.....	126
Figure 3.4.3. Détermination du prélèvement en eau de la culture avec la variation quotidienne de la teneur en eau du sol – Roquette, 2019.....	127
Figure 3.4.4. Proportion des prélèvements en eau quotidiens par strate de sol pour la culture de laitue romaine rouge, 2019	128
Figure 3.4.5. Proportion des prélèvements en eau quotidiens par strate de sol pour la culture de roquette, 2019.	129

1 OBJECTIFS

Les objectifs spécifiques du projet au site 2 sont les suivants :

1. Établir des relations entre les données météorologiques (températures de l'air et du sol, humidité du sol) et la levée des mauvaises herbes dans l'optique d'élaborer des modèles de levée et ainsi améliorer les pratiques de semis différés, de faux semis et de préparation du lit de semence, le tout dans l'optique d'élaborer des modèles de levée.
2. Évaluer l'efficacité des outils de désherbage mécanique (sarcler à cages et herse étrille) et de bioherbicides dans le cadre de faux semis et semis différés;
3. Déterminer les conditions optimales d'irrigation pour favoriser la levée des mauvaises herbes durant le semis différé;
4. Évaluer l'efficacité de bioinsecticides utilisés seuls ou combinés avec des prédateurs naturels sur les populations de ravageurs;
5. Évaluer l'impact des systèmes de production sur l'incidence des maladies des plantes et évaluer l'efficacité des stratégies de contrôle adoptées.

2 MÉTHODOLOGIE

2.1 DISPOSITIFS EXPÉRIMENTAUX

Le second site, établi en légumes-feuilles en 2018, représente un dispositif en parcelles divisées en deux niveaux incluant des cultures de couverture en parcelles principales et six combinaisons de désherbage mécanique en sous-parcelles combinés à des traitements mécaniques et chimiques (2018) ou un nombre d'irrigations (2019) en sous-sous-parcelles. Les voici en détails :

Cultures de couverture (parcelles principales):

- Seigle d'automne
- Mélange avoine et sarrasin
- Témoin sans couverture

Traitements de désherbage mécanique (sous-parcelles):

- Sarcleur à cages
- Herse étrille

Combinés à une troisième opération au semis (sous-sous-parcelles):

- 2018
 - Répétition du traitement mécanique
 - Vinaigre blanc (12 %) et savon neutre en pré-semis
 - Vinaigre blanc (12 %) sans savon (cycle 1) et vinaigre blanc (12 %) et savon neutre en pré-levée (cycle 2)
- 2019
 - Aucune irrigation durant les faux semis
 - Une irrigation dans la semaine suivant le premier faux semis
 - Une irrigation dans la semaine suivant le premier et le deuxième faux semis

Toutes les combinaisons ont été considérées et répétées trois fois au champ, pour un total de 54 parcelles expérimentales avec un suivi malherbologique tel que présenté aux Figures 2.1.1 et 2.1.2 pour 2018 et 2019, respectivement. Chaque parcelle est constituée d'une butte de 2,3 m de large par 15 m de long.

Intégrés à ces parcelles, deux traitements incluant l'application de bioinsecticides jumelée ou non à des lâchers de prédateurs naturels ainsi qu'un traitement témoin ont été répétés six fois au champ, pour un total de 18 parcelles avec un suivi entomologique, tel que présenté aux Figures 2.1.3 et 2.1.4 pour les deux ans, respectivement.

zone de pratique	15 m	15 m	15 m	zone de pratique
seigle 1	101	sarcleur à cage - sarcleur à cage	102	sarcleur à cage - herbicide 2
	104	herse étrille - herbicide 2	105	herse étrille - herbicide 1
témoin 1	201	sarcleur à cage - herbicide 1	202	sarcleur à cage - sarcleur à cage
	204	herse étrille - herse étrille	205	herse étrille - herbicide 2
témoin 2	301	sarcleur à cage - herbicide 2	302	sarcleur à cage - herbicide 1
	304	herse étrille - herse étrille	305	herse étrille - herbicide 2
avoine-sarrasin 1	401	sarcleur à cage - herbicide 2	402	sarcleur à cage - herbicide 1
	404	herse étrille - herbicide 1	405	herse étrille - herse étrille
seigle 2	501	sarcleur à cage - sarcleur à cage	502	sarcleur à cage - herbicide 2
	504	herse étrille - herbicide 1	505	herse étrille - herse étrille
seigle 3	601	sarcleur à cage - herbicide 2	602	sarcleur à cage - herbicide 1
	604	herse étrille - herse étrille	605	herse étrille - herbicide 2
avoine-sarrasin 2	701	herse étrille - herbicide 1	702	herse étrille - herse étrille
	704	sarcleur à cage - sarcleur à cage	705	sarcleur à cage - herbicide 2
avoine-sarrasin 3	801	sarcleur à cage - herbicide 1	802	sarcleur à cage - herbicide 2
	804	herse étrille - herbicide 2	805	herse étrille - herse étrille
témoin 3	901	sarcleur à cage - sarcleur à cage	902	sarcleur à cage - herbicide 1
	904	herse étrille - herbicide 1	905	herse étrille - herse étrille
	103	sarcleur à cage - herbicide 1		
	106	herse étrille - herse étrille		
	203	sarcleur à cage - herbicide 2		
	206	herse étrille - herbicide 1		
	303	sarcleur à cage - sarcleur à cage		
	306	herse étrille - herbicide 1		
	403	sarcleur à cage - sarcleur à cage		
	406	herse étrille - herbicide 2		
	503	sarcleur à cage - herbicide 1		
	506	herse étrille - herbicide 2		
	603	sarcleur à cage - sarcleur à cage		
	606	herse étrille - herbicide 1		
	703	herse étrille - herbicide 2		
	706	sarcleur à cage - herbicide 1		
	803	sarcleur à cage - sarcleur à cage		
	806	herse étrille - herbicide 1		
	903	sarcleur à cage - herbicide 2		
	906	herse étrille - herbicide 2		

Figure 2.1.1. Dispositif expérimental associé aux essais de malherbologie en 2018.

		15 m		15 m		15 m			
seigle 1	103	sarcléur à cages - sans irrigation	102	sarcléur à cages - 1 irrigation	101	sarcléur à cages - 2 irrigations	seigle 1	101	sarcléur à cages - 2 irrigations
témoin 1	106	herse étrille - 2 irrigations	105	herse étrille - 1 irrigation	104	herse étrille - sans irrigation	témoin 1	104	herse étrille - sans irrigation
témoin 2	203	sarcléur à cages - 1 irrigation	202	sarcléur à cages - sans irrigation	201	sarcléur à cages - 2 irrigations	témoin 2	201	sarcléur à cages - 2 irrigations
avoine-sarrasin 1	206	herse étrille - 1 irrigation	205	herse étrille - sans irrigation	204	herse étrille - 2 irrigations	avoine-sarrasin 1	204	herse étrille - 2 irrigations
seigle 2	303	sarcléur à cages - 2 irrigations	302	sarcléur à cages - sans irrigation	301	sarcléur à cages - 1 irrigation	seigle 2	301	sarcléur à cages - 1 irrigation
seigle 3	306	herse étrille - sans irrigation	305	herse étrille - 2 irrigations	304	herse étrille - 1 irrigation	seigle 3	304	herse étrille - 1 irrigation
avoine-sarrasin 2	403	sarcléur à cages - 2 irrigations	402	sarcléur à cages - 1 irrigation	401	sarcléur à cages - sans irrigation	avoine-sarrasin 2	401	sarcléur à cages - sans irrigation
avoine-sarrasin 3	406	herse étrille - sans irrigation	405	herse étrille - 2 irrigations	404	herse étrille - 1 irrigation	avoine-sarrasin 3	404	herse étrille - 1 irrigation
témoin 3	503	sarcléur à cages - sans irrigation	502	sarcléur à cages - 1 irrigation	501	sarcléur à cages - 2 irrigations	témoin 3	501	sarcléur à cages - 2 irrigations
	506	herse étrille - 1 irrigation	505	herse étrille - sans irrigation	504	herse étrille - 2 irrigations		504	herse étrille - 2 irrigations
	603	sarcléur à cages - 2 irrigations	602	sarcléur à cages - sans irrigation	601	sarcléur à cages - 1 irrigation		601	sarcléur à cages - 1 irrigation
	606	herse étrille - 2 irrigations	605	herse étrille - 1 irrigation	604	herse étrille - sans irrigation		604	herse étrille - sans irrigation
	703	herse étrille - 1 irrigation	702	herse étrille - sans irrigation	701	herse étrille - 2 irrigations		701	herse étrille - 2 irrigations
	706	sarcléur à cages - sans irrigation	705	sarcléur à cages - 2 irrigations	704	sarcléur à cages - 1 irrigation		704	sarcléur à cages - 1 irrigation
	803	sarcléur à cages - 2 irrigations	802	sarcléur à cages - 1 irrigation	801	sarcléur à cages - sans irrigation		801	sarcléur à cages - sans irrigation
	806	herse étrille - 1 irrigation	805	herse étrille - sans irrigation	804	herse étrille - 2 irrigations		804	herse étrille - 2 irrigations
	903	sarcléur à cages - sans irrigation	902	sarcléur à cages - 1 irrigation	901	sarcléur à cages - 2 irrigations		901	sarcléur à cages - 2 irrigations
	906	herse étrille - sans irrigation	905	herse étrille - 2 irrigations	904	herse étrille - 1 irrigation		904	herse étrille - 1 irrigation

Figure 2.1.2. Dispositif expérimental associé aux essais de malherbologie en 2019.

	15 m			15 m			15 m			
	seigle 1	témoin 1	témoin 2	avoine-sarrasin 1	seigle 2	seigle 3	avoine-sarrasin 2	avoine-sarrasin 3	témoin 3	
101										103
104										106
201										203
204										206
301										303
304										306
401										403
404										406
501										503
504										506
601										603
604										606
701										703
704										706
801										803
804										806
901										903
904										906

Figure 2.1.3. Dispositif expérimental associé aux essais d'entomologie en 2018.

2.2 FERTILISATION ET PRODUCTIVITÉ DES SYSTÈMES

Pour chaque cycle de production successif en laitue rouge et en roquette, une seule fertilisation a été appliquée pour toutes les parcelles tel que présenté au Tableau 2.2.1 Pour la laitue, une combinaison de compost de fumier de bovins et d'Acti-Sol® a été appliquée, de façon à combler les besoins en potassium sans ajouter d'engrais granulaire supplémentaire et avoir suffisamment d'azote disponible avec une dose agronomique de compost. Trente (30) unités d'azote disponible sous forme d'Acti-Sol® ont été ajoutées sur tout le site pour la roquette (Tableau 2.2.2).

Tableau 2.2.1. Résumé des doses de fertilisants appliquées en 2018 et 2019.

Type de fertilisant	Dose de fertilisant (t/ha en base humide)			
	2018		2019	
	Laitue frisée rouge ¹	Roquette	Laitue romaine rouge	Roquette
Compost de fumier de bovins	23		15	
Acti-Sol®	1,43	0,83	1,56	0,95

Tableau 2.2.2. Résumé des éléments fertilisants apportés en 2018 et 2019.

Élément fertilisant	Charge fertilisante apportée au sol (kg/ha)			
	2018		2019	
	Laitue frisée rouge ¹	Roquette	Laitue romaine rouge	Roquette
N total	159	43	152	43
N disponible	73	30	70	30
P₂O₅	114	32	101	30
K₂O	179	21	141	25

¹ En 2018, la production de laitue ayant été abandonnée et les résidus incorporés, les éléments fertilisants sont demeurés disponibles pour la roquette subséquente

2.2.1 Variables mesurées

Propriétés des fertilisants organiques

Lors de l'épandage du fumier de bovins composté et des granules de fumier de poulet, trois échantillons de chaque intrant ont été amassés en trois temps afin de bien représenter ce qui était appliqué au champ. Les trois échantillons ont été analysés de façon indépendante pour les variables suivantes :

- pH, % matières sèches, % matière organique, % cendres, % C organique
- N total, N minéral (NH₄ et NO₃), C/N, P, K, Ca, Mg, Na

Biomasse et contenu chimique des cultures de couverture

La biomasse et la teneur en eau des couverts végétaux a été mesurée aux automnes 2017 et 2018, à raison d'un et trois quadrats de 0,1 m² par parcelle principale, respectivement. Aux printemps 2018 et 2019, la biomasse, la

teneur en eau et le contenu en N total, P, K, Ca et Mg du seigle d'automne ont été mesurés dans trois quadrats par parcelles principale en 2018.

Rendements des cultures principales

Les rendements totaux ont été mesurés au champ en récoltant une zone de deux (2018) et un (2019) mètres de long sur toute la largeur de la butte. La teneur en eau a été mesurée sur des échantillons représentatifs de chaque parcelle.

2.3 ENTOMOLOGIE

Pour le volet des différentes régies de protection phytosanitaire, le but était de contrôler la présence des différents ravageurs de la laitue et de la roquette. Une liste de ravageurs problématiques dans ces deux cultures a été complétée à l'aide de la littérature scientifique et des seuils d'intervention agronomiques ont été inclus dans ce protocole. Cette description est présentée aux Annexes 1 et 2. En 2018, lorsqu'il y a eu atteinte du seuil agronomique (moyenne des parcelles) (Tableau 2.3.1) d'un ravageur dépisté, il y a eu application de la solution, soit l'application de bioinsecticide ou les lâchers de prédateurs naturels, préalablement définis. Vu la difficulté lors du dépistage visuel durant la première année, une autre méthode basée sur le suivi des dommages a été mise de l'avant en 2019. Les seuils de dommages suivants devaient être atteints pour appliquer la solution en fonction des dommages les plus présents : 1^{ère} semaine : 3 %; 2^e semaine: 4 %; 3^e semaine: 5 %. Il y a tout de même eu un dépistage visuel pour vérifier la présence des ravageurs.

2.3.1 Dépistage entomologique

Afin de mieux cibler le temps des interventions et l'évolution des populations des insectes à l'étude, un dépistage a été réalisé deux fois par semaine. Le dépistage entomologique a débuté dès l'apparition des cotylédons de la culture en question, environ une semaine après le semis, car certains insectes s'y attaquent dès leur levée du sol. En 2018, le dépistage visuel en champ s'est fait avec l'utilisation d'un quadrat utilisé pour homogénéiser le dépistage entre les deux cultures à l'essai. Cinq quadrats de 15 cm de diamètre ont été observés par parcelle pour compter le nombre de plants s'y trouvant (Figure 2.3.1). Le temps d'observation des ravageurs par quadrat était d'une minute. L'utilisation de quadrats a permis d'avoir une superficie uniforme et une plus grande homogénéité lors des dépistages. Toutefois, en raison du faible nombre d'insectes vus lors du dépistage en 2018, la méthode a été modifiée en 2019 pour une observation aléatoire de 25 plants (Figure 2.3.2). Pour les deux années, dans chaque parcelle, des pièges collants de couleur bleue pour le dépistage des thrips et de couleur jaune pour les punaises ternes, les altises et les pucerons ont été installés (Figure 2.3.3). Il est démontré que les pièges collants bleus attirent davantage les thrips que les pièges jaunes (Thériault et Ouellet, 2010)⁶. Le décompte des pièges collants a permis de valider, si nécessaire, le dépistage visuel au champ. Le Tableau 2.3.2 indique les mois pendant lesquels un dépistage est nécessaire pour chacun des ravageurs. Comme mentionné plus haut, puisque la présence des ravageurs est difficile à dénombrer, il y a eu un suivi des dommages sur 100 feuilles par

⁶ Thériault et Ouellet, 2010. Réseau d'Alerte Phytosanitaire –Avertissement No 08 – Crucifères. MAPAQ. <https://www.agrireseau.net/Rap/documents/-a08cru10.pdf>

parcelles toute au long de la saison de production pour quantifier l'augmentation de ceux-ci dans chacun des traitements. Des petits piquets de bois numérotés ont été installés en début de culture à l'apparition des deux premières vraies feuilles. Ensuite, une feuille a été identifiée et suivie tout au long de sa croissance.



Figure 2.3.1. Quadrat de 15 cm de diamètre utilisé pour le dépistage entomologique en 2018.



Figure 2.3.2 Le dépistage entomologique visuel a été utilisé en 2019 en observant aléatoirement 25 plants par parcelle, ainsi que 100 feuilles observées pour quantifier l'augmentation des dommages.



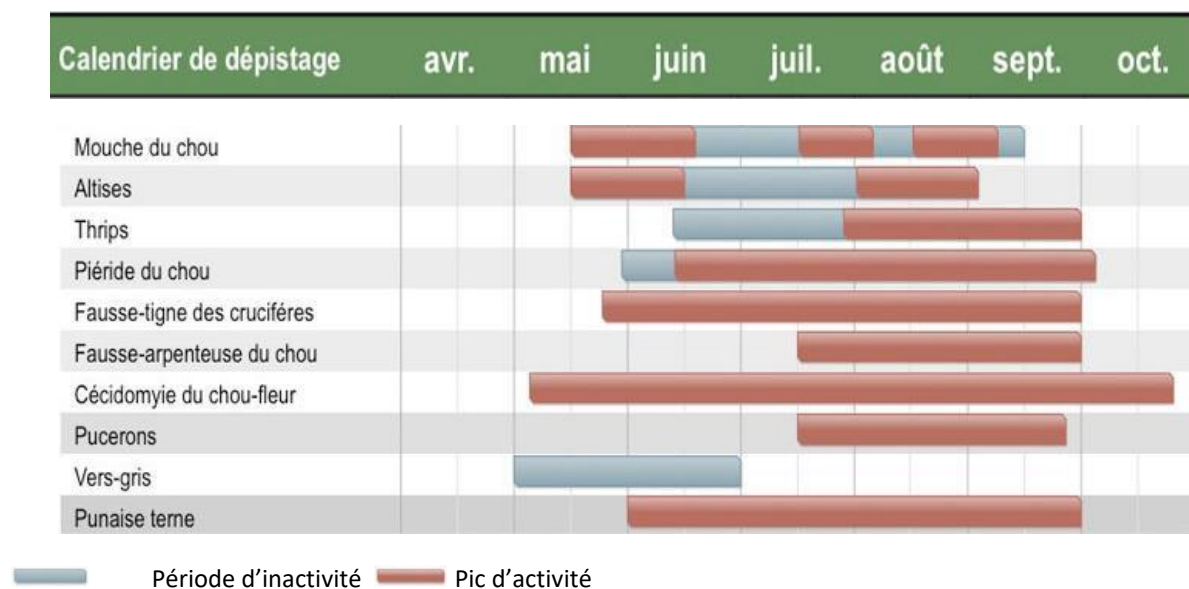
Figure 2.3.3. Installation des pièges collants sur arceau : le piège bleu est utilisé pour le dépistage des thrips et le piège jaune pour le dépistage des altises et des pucerons.

Tableau 2.3.1. Ravageurs des jeunes pousses de laitues et de la roquette avec leur seuil d'intervention agronomique (2018).

Ravageurs		Seuil agronomique	Références ¹
Nom commun	Nom latin		
Altise des crucifères	<i>Phyllotreta cruciferae</i>	1 ind./ feuille	Lefebvre et Gagnon, 2017
Altise des navets	<i>Phyllotreta striolata</i>	1 ind./ feuille	Lefebvre et Gagnon, 2017
Altise à tête rouge	<i>Systema frontalis</i>	1 ind./ feuille	Lefebvre et Gagnon, 2017
Fausse-arpenteuse	<i>Trichoplusia ni</i>	20-25 % ²	Chaput, 1999
Fausse tordeuse du chou	<i>Pieris rapae</i>	20-25 %	Chaput, 1999
Piéride du chou	<i>Plutella xylostella</i>	20-25 %	Chaput, 1999
Puceron de la laitue	<i>Nasonovia ribisnigri</i>	1 %	Gauthier et Ouellet, 2005
Puceron de la pomme de terre	<i>Macrosiphum euphorbiae</i>	10-15%	Gauthier et Ouellet, 2005
Puceron vert du pêcher	<i>Myzus persicae</i>	10-15%	Gauthier et Ouellet, 2005
Punaise terne	<i>Lygus lineolaris</i>	5 ind./ 30 plants	Gauthier et Ouellet, 2004
Mouche du chou	<i>Delia radicum</i>	Présence d'œufs	Lefebvre et al., 2017
Mouche des semis	<i>Delia platura</i>	Présence d'œufs	Légaré et Moisan-De-Serres, 2015
Thrips	<i>Frankliniella</i> sp.	3 ind./ plant	Leblanc, 2002; Thériault et Ouellet, 2010

¹ Références complètes présentées à l'Annexe C.

² Pourcentage de plants où au moins un ravageur a été identifié.

Tableau 2.3.2. Calendrier de dépistage des ravageurs (OMAFRA, 2018).

2.3.2 Choix des bioinsecticides et des prédateurs naturels

Les différents bioinsecticides disponibles et homologués par culture pour lutter contre les principaux ravageurs dans les deux productions sont résumés dans le Tableau 2.3.3. Une liste de critères a été ressortie pour mieux analyser et choisir les bioinsecticides utilisés dans le projet.

Pour la production de laitue et de roquette, des prédateurs naturels ont été utilisés afin de limiter la croissance des populations des ravageurs et des dommages conséquents sur la production. Afin d'avoir des prédateurs efficaces, il a été statué de choisir des insectes/acariens aptères afin d'éviter qu'il y ait un déplacement des prédateurs naturels vers les parcelles témoins et les parcelles avec bioinsecticides. Le stade de l'insecte/acarien reçu et son spectre de proies ont été considérés dans la sélection des prédateurs naturels. Le coût des prédateurs naturels choisis a aussi été pris en compte afin de faciliter l'utilisation de la lutte par agents biologiques par les producteurs. Le Tableau 2.3.4 présente la majorité de ces critères par prédateur naturel. Un autre critère de sélection pour le choix des prédateurs a été la toxicité des bioinsecticides chez les prédateurs (Tableau 2.3.5).

Tableau 2.3.3. Liste des bioinsecticides admissibles contre les ravageurs retrouvés dans la laitue et la roquette.

Insecticide	Matière active	Délai de ré-entrée	Délai de récolte	Prix	Dose	Prix (\$/ha)	Altise	Thrips	Pucerons	Mouches	Punaise terne	Chenilles
BIOCERES® WP	<i>Beauveria bassiana</i>	-	0 j	79,95\$ (500g)	1-4 kg/ha	160-640	X ⁷	X	X		X ⁸	
ENTRUST® SC	Spinosad	12h	1-3 j *	547,60\$ (1L)	292-364 ml/ha	160-200	X	X				X ⁷
XENTARI® WG	<i>Bacillus turingiensis var. aizawai</i>	4h	0 j	52,20\$ (450g)	500-1000 g/ha	58-116						X
BIOPROTEC® CAF	<i>Bacillus turingiensis var. kurstaki</i>	4h	0 j	213,40\$ (10L)	1,4-2,8 L/ha	30-60						X
TROUNCE®	Sels de potassium d'acide gras et pyrèthrine	24h	1 j	153,00\$ (10L)	5 L/ha	76,50	X	X ⁷	X		X ⁷	X
PYGANIC®	Pyrèthrines	12h		313,00\$ (3,78L)	2,32-4,65 L/ha	192-385	X ⁹	X ⁷	X			

Légende : X : Homologué dans la laitue ou la roquette
 X : Homologué contre le ravageur mais pas dans les cultures ciblées
 X : Pas d'homologation face au ravageur mais susceptible d'affecter celui-ci.
 * : 1 jour pour la laitue et 3 jours pour la roquette.

⁷ Miranpuri et Khachatourians, 1995. Entomopathogenicity of *Beauveria bassiana* toward flea beetles, *Phyllotreta cruciferae* Goeze (Col., Chrysomelidae), *Journal of Applied Entomology*, 119:2, 167-170

⁸ Duval 2013. *Stratégies gagnantes dans la lutte contre certains insectes ravageurs des cultures maraichères biologiques* (consulté le 8 juin 2018). https://www.cetab.org/system/files/publications/strategies_gagnantes_phytoprotection_-_j_duval_-_8_fevrier_2013.pdf

⁹ Bunn et al., 2015. Flea Beetles on Vegetables (Coleoptera : Chrysomelidae), *Utah State University Extension*, ENT-174-15

Tableau 2.3.4. Modes d'utilisation, coûts et proies potentielles selon le prédateur naturel.

Prédateurs naturels	Stade prédation	Intervention	Quantité (ind./m ²)	Fréquence d'introduction	Coût (\$/ha)	Coût des formats*	Altises	Thrips	Pucerons	Mouches
<i>Chrysoperla carnea</i> (Larves)	Larve	Préventif	30	14 j	25 000\$	78,95\$ (1k larves)		X	X	
		Curatif	100	7 j	80 000\$					
<i>Chrysoperla carnea</i> (Oeufs)	Larve	Préventif	10	(Tôt en saison)	520\$	26,00\$ (5000 œufs)		X	X	
		Curatif	40 et +	7 j	2600\$					
<i>Gaeolaelaps gillespiei</i>	Adulte	Préventif	100	2-3 sem	1 500\$	30,95\$ (25k)		X		X
		Curatif	250	2-3 sem	3 750\$					
<i>Amblyseius swirskii</i>	Adulte	Préventif	25	21 j	500\$	99,95\$ (50k)		X		
		Curatif	100	7 j	2 000\$					
		Foyer	250	7 j	5 000\$					
<i>Neoseiulus cucumeris</i>	Adulte	Préventif	100	14-21 j	400\$	99,95\$ (250k)		X		
		Curatif	250	14-21 j	1 000\$					
		Foyer	500	7 j	2 000\$					
<i>Steinernema feltiae</i>	Adulte	Préventif	100k	7 j	335\$	419,60\$ (1,25G)	X	X	X	
		Curatif	300k	7 j	1 000\$					
<i>Orius insidiosus</i>	Adulte	Préventif	2-5	14-21 j	4 600\$	93,95\$ (1k)		X	X	
		Curatif	10+	7 j	9 400\$					
<i>Dalotia coriaria</i>	Adulte	Préventif	1	7-14 j	1 500\$	144,95\$ (1k)		X	X	X
		Curatif	10	7-14 j	15 000\$					
		Foyer	75	Au besoin	109 000\$					
<i>Aphidoletes aphidimyaza</i>	Larve	Préventif	0,5	7 j	175\$	174,95\$ (5k pupes)			X	
		Curatif	1	7 j	350\$					
<i>Stratiolaelaps scimitus</i>	Adulte	Préventif	100	14-28 j	1 100\$	26,95\$ (25k)		X		X
		Curatif	500	Au besoin	5 400\$					

Tableau 2.3.5. Complémentarité théorique entre les prédateurs naturels et les bioinsecticides potentiels.

Prédateur naturel	Bioinsecticides					
	BioCeres® WP	Entrust®	XenTari® WG	Bioprotec®	Trounce®	Pyganic®
<i>Chrysoperla carnea</i>	X	X	X	X	X	X
<i>Gaeolaelaps gillespiei</i>	X	X	X	X	X	X
<i>Amblyseius swirskii</i>	X	X	X	X	X	X
<i>Steinernema feltiae</i>	X	X	X	X	X	X
<i>Orius insidiosus</i>	X	X	X	X	X	X
<i>Neoseiulus cucumeris</i>	X	X	X	X	X	X
<i>Aphidoletes aphidimyza</i>	na	X	X	X	X	X
<i>Stratiolaelaps scimitus</i>	X	X	X	X	X	X

X FAIBLE TOXICITÉ X FORTE TOXICITÉ

2.3.3 Méthodes de contrôle des ravageurs

À la suite de la collecte d'informations sur les différents prédateurs, les différents bioinsecticides homologués pour les productions à l'étude, ainsi que leur compatibilité, il a été déterminé qu'il y aurait utilisation des produits Trounce®, Entrust® SC et Bioprotec® CAF et l'introduction de *N. cucumeris*, *S. scimitus* et de *D. coriaria* (2018) ou *C. carnea* (2019).

Les différents produits ont été sélectionnés en fonction des toxicités sur les prédateurs, des prix et des homologations en culture de laitue et de roquette. Notre choix s'est arrêté sur ces trois prédateurs, car ils permettent de cibler la majorité des ravageurs présents dans les deux productions. Aussi, leurs coûts sont réalistes dans un concept de transfert des résultats à la ferme. En 2018, *Dalotia coriaria* n'a été utilisé qu'en cas de foyers importants dans les parcelles en régie mixte en raison de son prix plus élevé et de sa mobilité. L'introduction des deux acariens a été fait de manière préventive à toutes les semaines. Malheureusement, bien qu'il soit intéressant, *G. gillespiei* n'a pas pu être choisi comme prédateur dans les essais aux champs, car le seul fournisseur québécois l'offrant était en rupture de stock en 2018. En 2019, nous avons changé *Dalotia coriaria* par *Chrysoperla carnea*, car ce prédateur larvaire est maintenant disponible sous forme d'œufs et à des coûts assez intéressants.



Figure 2.3.4. Dispositif de lâchers des prédateurs naturels : œufs de chrysope verte avec œufs d'*Ephestia* sp. (haut) et acariens prédateurs (bas).

Les lâchers de prédateurs naturels ont été faits dans les conditions les plus optimales. Ils étaient placés au réfrigérateur à 10 °C lors de la réception de la commande pour être ressortis le jour du dépistage. Une observation de la vigueur des prédateurs était réalisée à la réception des colis et avant chaque introduction. L'introduction n'était faite qu'après l'irrigation et pendant les journées plus fraîches, idéalement en matinée ou en soirée et avec des vents faibles ou nuls. Si une application phytosanitaire était prévue, les introductions de prédateurs naturels se sont faites après un délai raisonnable. Les commandes des prédateurs ont été réalisées les vendredis avant midi pour les recevoir le mardi ou mercredi de la semaine suivante. Les journées limites dans la semaine pour passer une commande de prédateurs naturels varient en fonction des fournisseurs et des années. Il est nécessaire de s'informer auprès de ceux-ci avant de débiter la saison estivale.

Pour les applications des différents bioinsecticides, afin de limiter la dérive vers les parcelles adjacentes, une zone tampon de 1,5 m à chaque extrémité de la parcelle a été utilisée sur chaque parcelle traitée. La buse à jet plat XR8003 a été utilisée, car elle produit des gouttelettes fines, ce qui permet d'avoir une meilleure couverture du

produit sur le feuillage. Aussi, il y a présence d'un plastique anti-dérive autour de la rampe de pulvérisation (Figure 2.4.2). Les détails liés à la configuration du pulvérisateur et le résumé des bouillies préparées sont présentés au Tableau 2.3.6.

Tableau 2.3.6. Configuration du pulvérisateur pour les applications de bioinsecticides.

Préparation de la bouillie	Produit		
	Trounce®	Entrust® SC	Bioprotec® CAF
Surface à traiter (m ²)	165,6	165,6	165,6
Capacité réservoir (L)	200	200	200
Quantité à utiliser (165,6 m ²)	0,80	0,01	0,09
Quantité d'eau de bouillie (L)	16,0	16,0	16,0
Débit (L/ha)	500	500	500
Paramètres du pulvérisateur			
Espacement entre les buses (cm)	50	50	50
Type de buse	XR8003	XR8003	XR8003
Hauteur des buses (cm)	50	50	50
Pression (psi)	58	58	58
Pression (bar)	4	4	4
Débit (L/min)	1,4	1,38	1,38
Vitesse (miles/h)	2,1	2,1	2,1
Vitesse (km/h)	3,3	3,3	3,3

Les tableaux 2.3.7 à 2.3.9 résument les stratégies adoptées pour les traitements sans et avec prédateurs naturels (2018 et 2019), respectivement.

Tableau 2.3.7. Choix des bioinsecticides par ravageur et par culture pour la régie avec [produits phytosanitaires uniquement](#).

	Laitue frisée rouge	Roquette
Thrips	Trounce®	Entrust® SC
Altises	X	Entrust® SC
Pucerons	Trounce®	Trounce®
Punaise terne	Pas de produit homologué	Pas de produit homologué
Chenilles	Bioprotec® CAF	Bioprotec® CAF
Cécidomyie	X	Entrust® SC
Mouches	Pas de produit homologué	Pas de produit homologué

X= Ravageurs non problématiques dans la culture ciblée.

Tableau 2.3.8. Choix des bioinsecticides ou des prédateurs naturels par ravageur et par culture pour la régie phytosanitaire mixte en 2018.

	Laitue frisée rouge	Roquette
Thrips	<i>N. cucumeris</i> , <i>S. scimitus</i> et <i>D. coriaria</i>	<i>N. cucumeris</i> , <i>S. scimitus</i> et <i>D. coriaria</i>
Altises	X	Entrust® SC
Pucerons	<i>Dalotia coriaria</i>	<i>Dalotia coriaria</i>
Punaise terne	Pas de produit homologué	Pas de produit homologué
Chenilles	Bioprotec® CAF	Bioprotec® CAF
Cécidomyie	X	Entrust® SC
Mouches	<i>S. scimitus</i> et <i>D. coriaria</i>	<i>S. scimitus</i> et <i>D. coriaria</i>

Tableau 2.3.9. Choix des bioinsecticides ou des prédateurs naturels par ravageur et par culture pour la régie phytosanitaire mixte en 2019.

	Laitue frisée rouge	Roquette
Thrips	<i>N. cucumeris</i> , <i>S. scimitus</i> et <i>C. carnea</i>	<i>N. cucumeris</i> , <i>S. scimitus</i> et <i>C. carnea</i>
Altises	X	Entrust® SC
Pucerons	<i>C. carnea</i>	<i>C. carnea</i>
Punaise terne	Pas de produit homologué	Pas de produit homologué
Chenilles	Bioprotec® CAF	Bioprotec® CAF
Cécidomyie	X	Entrust® SC
Mouches	<i>S. scimitus</i> et <i>C. carnea</i>	<i>S. scimitus</i> et <i>C. carnea</i>

2.3.4 Données prises à la récolte

À la récolte, 30 plants entiers de roquette étaient prélevés par parcelle (Figure 2.3.5). Une observation des dommages entomologiques a été réalisée. Le décompte comprenait les dommages d'altises, les dommages de thrips et des dommages de chenilles, ainsi que les autres dommages (mécaniques ou non qualifiables). Le nombre de feuilles totales par plant a été comptabilisé, ainsi que le nombre de feuilles endommagées.



Figure 2.3.5. Plants de roquette complets lors du décompte des dommages sur feuilles.

2.4 MALHERBOLOGIE

2.4.1. Modélisation de la levée des mauvaises herbes au champ

Un dispositif en bloc aléatoire complet avec quatre répétitions a été mis en place pour recueillir les données de levée de mauvaises herbes. L'expérience comptait vingt traitements qui correspondaient au nombre de semaines désherbées avant le début de la prise de données (Tableau 2.4.1). Le traitement 1 était un témoin où aucun travail de sol n'a été effectué. Les 19 autres traitements étaient désherbés une fois par semaine à l'aide d'un petit vibroculteur avec des dents en S selon un calendrier prédéterminé entre le 9 mai et le 13 septembre 2018 et du 22 mai au 25 septembre 2019. La vitesse et la profondeur du travail de sol étaient de 10 km/h et 10 cm respectivement. Chaque parcelle avait 2 m de long par 1,2 m de large. Les mauvaises herbes ont été identifiées et dénombrées dans chaque parcelle deux fois par semaine dans un quadrat de 0,1 m² (0,5 m x 0,2 m). À la suite des comptages, les mauvaises herbes étaient retirées du quadrat.

La température et l'humidité du sol ont été mesurées dans chaque parcelle non travaillée, du 29 mars au 1^{er} octobre 2018 et du 3 avril au 21 octobre 2019. La température du sol à 2,5 cm de profondeur et la température de l'air à 1,22 m ont été mesurées à l'aide d'acquisiteurs de données HOBO Pendant®. La température du sol à 5 cm de profond et la teneur en eau du sol dans la strate 0-5 cm ont également été mesurées respectivement par des sondes 109 et CS625 (Campbell Scientific). Les données mesurées ont été enregistrées à une fréquence de 60 minutes dans des acquiesseurs de données CR200X (Campbell Scientific).

Tableau 2.4.1. Description des traitements dans le protocole de modélisation en 2018 et 2019.

Traitements	Nb de semaines désherbées	An	Dates de travail du sol (jour/mois)*																			
			2018	9/5	16/5	23/5	30/5	8/6	15/6	22/6	27/6	4/7	11/7	18/7	24/7	31/7	8/8	15/8	22/8	29/8	7/9	13/9
1	0		2019	22/5	29/5	5/6	12/6	19/6	26/6	4/7	10/7	17/7	24/7	31/7	8/8	14/8	22/8	28/8	6/9	11/9	18/9	25/9
2	1			X																		
3	2			X	X																	
4	3			X	X	X																
5	4			X	X	X	X															
6	5			X	X	X	X	X														
7	6			X	X	X	X	X	X													
8	7			X	X	X	X	X	X	X												
9	8			X	X	X	X	X	X	X	X											
10	9			X	X	X	X	X	X	X	X	X										
11	10			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X									
12	11			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X								
13	12			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X							
14	13			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X						
15	14			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X					
16	15			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X				
17	16			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			
18	17			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
19	18			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
20	19			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

* La lettre X indique la ou les dates où le sol a été travaillé pour chacun des traitements.

2.4.2. Opération de faux semis

En 2018, l'efficacité de différents outils de désherbage mécanique et de bioherbicides à base de vinaigre blanc a été évaluée. Lors des premiers passages, la performance d'une herse étrille et d'un sarcleur à cages a été comparée. La herse étrille utilisée a été présentée à la section 2.2.4. Le sarcleur à cages K.U.L.T. avait une largeur de 1,57 m, était muni de la même plaque lissante que la herse étrille et travaillait sur toute la surface de la planche (Figure 2.4.1). Le bioherbicide utilisé était du vinaigre blanc à 12 % d'acide acétique, de la compagnie Aliments Reinhart (0,886 \$/L). Un pulvérisateur à rampe avec 4 buses de type Air induction Turbo TwinJet AITTJ60-11015VP était utilisé, où une seule planche était pulvérisée (Figure 2.4.2). Le vinaigre était utilisé seul ou en combinaison avec 3 % (v/v) de savon neutre liquide (11,44 \$/L) de la compagnie Les Âmes Fleurs inc. Ce savon de type Castille, 100 % naturel est constitué d'oléate de potassium, cocoate de potassium, de glycérine, de citrate de potassium et d'acide citrique.

Les paramètres d'ajustement de chaque équipement pour chacune des interventions en 2018 sont indiqués dans le Tableau 2.4.2.



Figure 2.4.1. Sarcleur à cages et plaque lissante utilisés pour effectuer les faux semis.

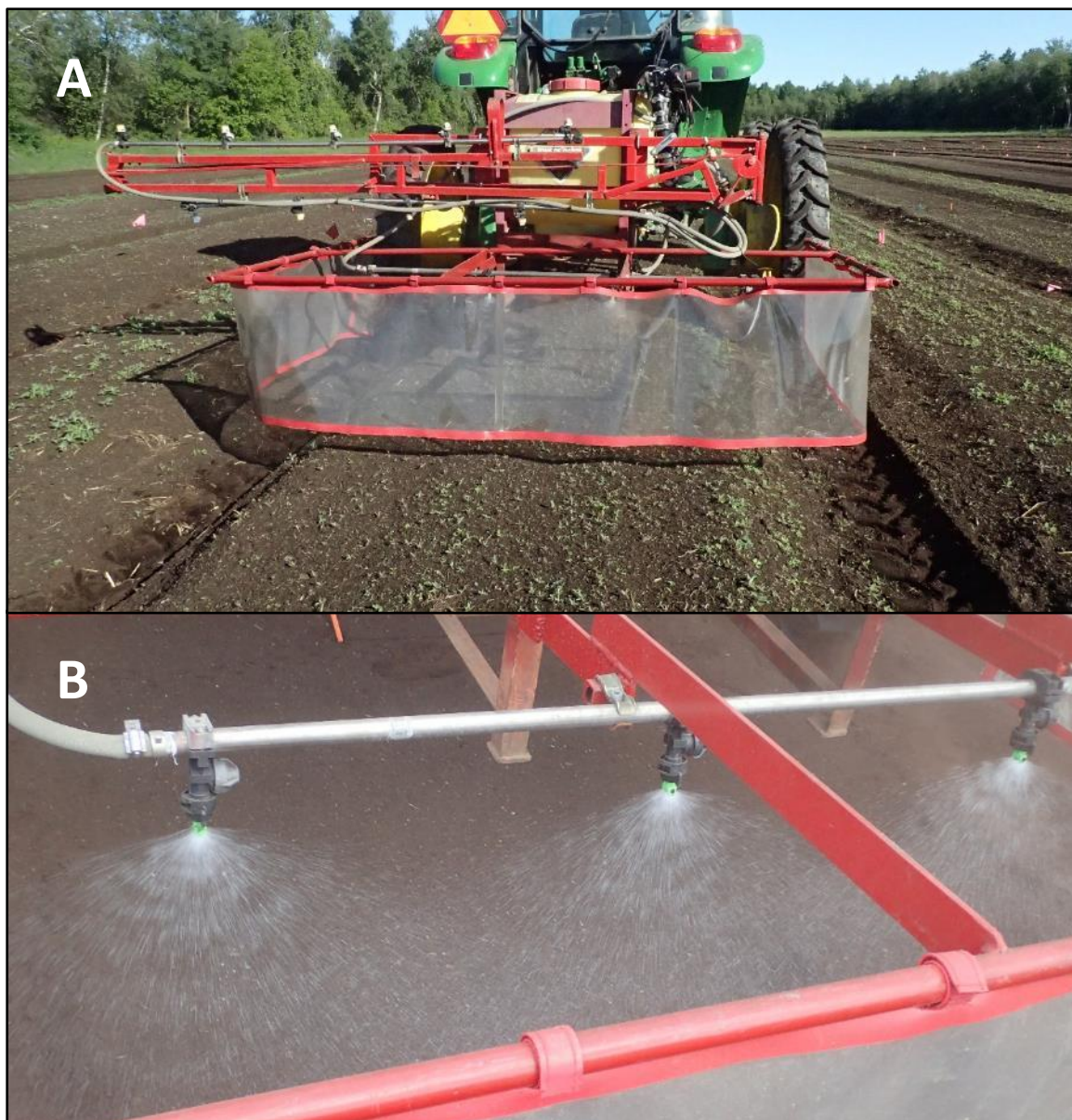


Figure 2.4.2. A) Pulvérisation de bioherbicide à base de vinaigre blanc à l'aide d'un pulvérisateur à rampe.
B) Patron de pulvérisation.

Tableau 2.4.2. Paramètres de réalisation de chaque opération de faux semis et de traitement herbicide en 2018.

Cycle-date parcelles ciblées*	Équipements												
	Sarclleur à cages		Herse étrille		Pulvérisateur								
					Acide acétique 12 %								
					PRÉSEMIS			+ 3 % savon PRÉSEMIS			+ 3 % savon PRÉLEVÉE		
	Vitesse km/h	Profon- deur cm	Vitesse km/h	Profon- deur cm	Vitesse km/h	Taux L/ha	Pression PSI	Vitesse km/h	Taux L/ha	Pression PSI	Vitesse km/h	Taux L/ha	Pression PSI
1-24 mai <i>Sous parcelle</i>	10,5	5-7	9,7	3-5									
1-30 mai <i>Sous parcelle</i>	9,7	5-7	9,7	5-7									
1-11 juin <i>Sous sous parcelle</i>	9,7	5-7	9,7	5-7	6	750	25	6	750	25			
2-6 août <i>Sous parcelle</i>	9,7	7	9,7	7									
2-9 août <i>Sous parcelle</i>	9,7	7	9,7	7									
2-13 août <i>Sous sous parcelle</i>	9,7	7	9,7	7				7	750	25			
2-16 août <i>Sous sous parcelle</i>											7	750	25

* Se référer à la section 2.1 pour la description du dispositif expérimental.

En 2019, l'efficacité des outils de désherbage mécanique cités précédemment et l'influence de l'irrigation sur la levée des mauvaises herbes ont été évaluées. La méthodologie est décrite dans la section 2.1. Lors des premiers passages, la performance de la herse étrille et du sarclleur à cages a été comparée. Toutefois en 2019, les équipements utilisés pour effectuer les faux semis étaient fixés à un système d'ajustement automatique de la profondeur. Ce système était équipé d'une plaque horizontale qui épousait la surface du sol avec l'avancement du tracteur. Celle-ci était reliée à un cadre roulant. Lorsque la hauteur de la butte changeait, des détecteurs de proximité installés sur cette structure permettaient au système hydraulique d'ajuster la hauteur des équipements de travail de sol automatiquement. Les opérations de faux semis ont été réalisées le 29 mai, le 4 et le 10 juin pour le cycle de production de laitue et les 29 juillet, 1 et 6 août pour le cycle de production de roquette. Pour chacune des opérations, mis à part celle du 29 juillet, la vitesse de travail du sarclleur à cages et de la herse étrille étaient respectivement 6,4 km/h et 9,7 km/h. La profondeur de travail était de 3-4 cm. Lors de l'opération du 29 juillet,

les paramètres de travail étaient les mêmes, sauf pour la herse étrille dont la vitesse était 6,4 km/h à une profondeur de 2-3 cm.

En 2019, une rampe d'irrigation a été conçue afin de faire des apports d'eau constants pour une largeur correspondant à celle de la butte. Cette rampe était utilisée en pré-semis en contexte de contrôle des mauvaises herbes par les faux semis. Ainsi, seules les parcelles bénéficiant d'épisodes d'apport en eau pouvaient être irriguées. Ces apports en eau étaient réalisés lorsque la valeur de tension à une profondeur de 15 cm était de -15 kPa. Les différents paramètres contrôlés pour apporter une hauteur d'eau de 5 mm étaient le nombre de buses (5), avec 27 cm d'espacement entre les buses, 48 cm de distance entre le dessus de la butte et les buses, un débit de 20 l/min à une pression d'opération à la sortie des buses de 7 PSI ainsi que la vitesse d'avancement du tracteur de 0,79 km/h.

2.4.3. Analyse statistique - Modélisation

La température et l'humidité du sol mesurées dans les quadrats des zones non travaillées ont permis de calculer les unités thermiques cumulées au cours de la saison. Il existe plusieurs types et méthodes de calculs des unités thermiques pour modéliser la levée des mauvaises herbes. L'unité thermique sélectionnée est le temps hydrothermal (HTT), comme décrit par Roman et al. (2000)¹⁰. Le temps hydrothermal se calcule en considérant l'humidité et la température du sol et selon certains paramètres spécifiques limitant la germination de chaque espèce dans des conditions non favorables.

Le temps hydrothermal cumulé se calcule de la façon suivante :

$$HTT = \sum_{d=1}^n \theta_H \theta_T$$

$$\theta_H = \varphi - \varphi_b \quad \text{lorsque } \varphi > \varphi_b$$

$$\text{sinon, } \theta_H = 0$$

$$\theta_T = T - T_b \quad \text{lorsque } T_b < T < T_{opt}$$

$$\theta_T = \{(T_{opt} - T_b)[1 - (T - T_{opt}) / (T_{max} - T_{opt})]\} \quad \text{lorsque } T_{opt} < T < T_{max}$$

$$\text{sinon, } \theta_T = 0$$

Où θ_H correspond au temps hydrique, θ_T correspond au temps thermal, φ correspond à l'humidité moyenne quotidienne mesurée du sol, φ_b correspond au seuil d'humidité de base limitant la germination, T

¹⁰ Roman et al., 2000. Simulation of *Chenopodium album* seedling emergence. Weed Science 48, 217-224.

correspond à la température moyenne quotidienne, T_b correspond à la température de base, T_{opt} à la température optimale et T_{max} à la température maximale.

Les levées du chénopode blanc, de la bourse-à-pasteur (*Capsella Bursa-pastoris*) et du pourpier potager ont été corrélées avec l'accumulation de temps hydrothermal, basé sur les paramètres du Tableau 2.4.3. Il est important de préciser que le seuil d'humidité a été établi visuellement et que ces températures cardinales sont tirées de la littérature. Par la suite, ces valeurs ont été ajustées selon la meilleure concordance entre les deux années d'observation.

Tableau 2.4.3. Températures cardinales, seuils d'humidité reliés à la germination et données utilisées pour calculer le temps hydrothermal (HTT) pour chacune des espèces à l'étude.

Espèce	Profondeur de la température	Profondeur de l'humidité	T_{base}	$T_{optimum}$	$T_{maximal}$	φ_{base}
	cm	cm	°C	°C	°C	cm ³ /cm ³
<i>Chenopodium album</i>	5,0	5	4	24	39,5	0,15
<i>Capsella Bursa-pastoris</i>	5,0	5	4	22	35,0	0,15
<i>Portulaca oleracea</i>	2,5	5	7	30	45,0	0,17

La levée des mauvaises herbes fut mise en relation avec le HTT cumulé à l'aide du logiciel Table Curve 2D v.5.01. Ce logiciel permet de calculer les meilleures courbes et équations possible entre deux variables. La proportion de levée cumulative (LC) des mauvaises herbes correspond la plupart du temps à une courbe typique en S. Parmi ces courbes, l'équation de type Weibull fut utilisée ici.

Équation Weibull :

$$LC (\%) = 0 \quad \text{si } HTT < x_0$$

$$LC (\%) = 1 - \exp \left[-\ln(2) \left(\frac{HTT - x_0}{x_0 - b} \right)^c \right], \quad \text{si } HTT > x_0$$

Où x_0 correspond à la valeur de HTT lorsque la courbe croise l'axe des X, b correspond à la valeur de HTT au point d'inflexion (50 % de la levée) et c correspond au paramètre de pente.

Chez certaines espèces, il est possible d'observer plus d'une phase de levée dans la saison. Dans ces cas, il est préconisé d'utiliser des courbes concordant avec ces phases. Pour modéliser la levée de la bourse-à-pasteur et du pourpier potager dans notre étude, une courbe bimodale Weibull et logistique utilisée par Leon et al. 2015¹¹ a été modifiée pour inclure une phase initiale de latence:

Équation Weibull + logistique modifiée :

¹¹ Leon et al., 2015. Characterization and modeling of itchgrass (*Rottboellia cochinchinensis*) biphasic seedling emergence patterns in the tropics. Weed Science 63(3), 623-630.

$$LC (\%) = a[1 - \exp(-b(HTT - e))] + \left[\frac{100 - a}{1 + \exp\left(-\frac{HTT - c}{d}\right)} \right]$$

Pour les courbes en 2 phases Weibull et logistique, le paramètre **a** représente le maximum de levée atteint au premier plateau, **b** est le taux de levée de la première phase, **c** le point d'inflexion où la deuxième phase commence, **d** représente le point d'équilibre du taux de levée où 100 % est atteint et **e** représente la valeur de HTT au début de la levée.

Pour valider d'une façon très préliminaire les modèles développés, la levée prédite par les modèles lors du cycle de production de laitue en 2019 a été comparée à la levée observée. Pour ce faire, trois quadrats de 0,2 x 0,5 m par intervention ont été installés en marge du site de production dans lesquels les plantules ont été identifiées, comptées et arrachées à raison de deux fois par semaine jusqu'à la récolte de la laitue. À chaque intervention, une série de trois quadrats étaient installés à la suite de l'opération et ne subissaient plus de perturbation par la suite.

2.4.4. Analyse statistique - Opération de faux semis

Efficacité

Pour mesurer l'efficacité de chaque intervention de contrôle des mauvaises herbes, celles-ci ont été identifiées et comptées le jour avant ou le matin même de l'opération, puis la journée suivante dans un quadrat de 0,1 m² (0,5 m x 0,2 m).

Les données d'efficacité ont été soumises à une analyse de variance et les moyennes ont été comparées à l'aide du test de Tuckey-Kramer (HSD) au seuil de signification de P=0,05. Les analyses statistiques de l'efficacité des opérations de faux semis ont été effectuées en considérant le dispositif expérimental correspondant à chaque intervention. En 2018, lors du cycle 1 en laitue frisée, les analyses des opérations 1 et 2 ont été faites en situation de parcelles divisées (split plot) avec 3 répétitions sans bloc, où le type de cultures de couverture est le facteur principal et l'équipement de faux semis est le facteur secondaire. Pour l'opération 3, l'analyse a été faite en considérant un dispositif en parcelles divisées à deux niveaux (strip split plot) à trois répétitions sans bloc, où un troisième facteur vient s'intégrer, soit les différentes techniques de faux semis (mécanique ou chimique en 2018). Puisque le facteur de cultures de couverture n'a pas été significatif dans le premier cycle, celui-ci a été retiré de l'analyse de l'efficacité des opérations 1 et 2 du deuxième cycle en roquette, générant ainsi un dispositif complètement aléatoire avec 9 répétitions sans bloc. Pour la troisième opération du cycle 2, l'analyse a été faite de la même façon que dans le cycle 1, soit en considérant un dispositif en parcelles divisées à deux niveaux à trois répétitions sans bloc. Toutes les analyses d'efficacité, représentées en pourcentage ont été faites sur les données transformées ($\arcsin\sqrt{x}$). Les moyennes originales sont présentées et accompagnées de l'erreur type (SE).

Pour l'analyse statistique de la sensibilité des espèces abondantes à un même traitement herbicide en 2018, le dispositif expérimental considéré était complètement aléatoire à 9 répétitions sans bloc. Les espèces considérées comme abondantes étaient celles dont un total de 500 individus/m² ont été observés dans la saison. Lorsque l'objectif de l'analyse était de comparer l'efficacité des traitements herbicides au sein de la même espèce, le dispositif expérimental considéré était un dispositif en parcelles divisées à 9 répétitions sans bloc. Les analyses de pourcentage ont été également réalisées sur les données transformées ($\arcsin\sqrt{x}$). Les moyennes originales sont présentées et accompagnées de l'erreur type (SE).

En 2019, lors de la première et la deuxième opération de faux semis du cycle 1 et du premier faux semis du cycle 2, les analyses ont été faites en situation de parcelles divisées (split plot) avec 3 répétitions sans bloc, où le type de cultures de couverture est le facteur principal et l'équipement de faux semis est le facteur secondaire. Pour les autres opérations de faux semis, l'analyse a été faite en considérant un dispositif en parcelles divisées à deux niveaux (strip split plot) à trois répétitions sans bloc, où un troisième facteur vient s'intégrer, soit l'irrigation (sans irrigation, une irrigation ou deux irrigations, suite aux faux semis). De la même manière qu'en 2018, toutes les analyses d'efficacité, représentées en pourcentage, ont été faites sur les données transformées ($\arcsin\sqrt{x}$). Les moyennes originales sont présentées et accompagnées de l'erreur type (SE). Pour analyser l'impact de l'irrigation sur la levée des mauvaises herbes, la densité de chaque espèce de mauvaise herbe présente avant chaque intervention de faux semis où une irrigation a eu lieu a été utilisée.

Populations de mauvaises herbes

Les évaluations de populations de mauvaises herbes ont eu lieu juste avant les récoltes des jeunes pousses de légumes, soit le 10 - 11 septembre 2018 pour la roquette. Dans chacune des parcelles expérimentales de roquette, les mauvaises herbes ont été dénombrées sur une surface de 0,05 m² (0,2 m x 0,25 m). Par la suite, elles ont été récoltées par parcelle, puis séchées à 70 °C jusqu'à l'obtention d'un poids sec et stable. En 2019, toutes les espèces ont été identifiées et dénombrées avant la récolte des cultures, soit les 11 - 12 juillet et 5 - 6 septembre, dans un quadrat de 0,05 m² par parcelle.

Pour l'analyse de la densité et de biomasse des populations de mauvaises herbes, les données ont été soumises à une analyse de variance et testées pour la normalité et l'homogénéité à l'aide du logiciel R version 3.0.1. Les moyennes ont été comparées à l'aide du test de Tuckey-Kramer (HSD) au seuil de signification de 0,05. Les données ont été transformées au besoin afin de rencontrer l'hypothèse de la normalité. La densité et la biomasse ont été analysées avec les données non transformées, en considérant le dispositif expérimental en parcelles divisées à deux niveaux sans bloc et trois répétitions. Les moyennes originales sont présentées, accompagnées de l'erreur type (SE).

2.5 RÉGIE DE L'IRRIGATION

Les irrigations ont été effectuées avec des gicleurs SOMLO 40C qui ont été disposés en quinconce et espacés aux 18,3 m (60 pieds).

La teneur en eau volumique du sol (cm^3 eau/ cm^3 sol) a été mesurée avec des sondes TDR (CS625, Campbell Scientific) de 30 cm de longueur à 4 endroits sur la largeur de la butte de sol. Les sondes étaient positionnées côte à côte à 25, 50, 75 et 100 cm du premier rang de culture du côté Est de la butte. La culture occupait une largeur d'environ 140 cm au centre de la butte de sol. Les sondes étaient insérées dans le sol en diagonale de manière à parcourir une profondeur variant de 5 à 30 cm. Ainsi, les sondes positionnées à 25, 50, 75 et 100 cm sur la butte couvraient respectivement les profondeurs de 0-20, 0-5, 0-10 et 0-30 cm. Un tensiomètre (SR-RSU-V, Irrrometer) était inséré dans la butte pour prendre une mesure de la tension du sol (kPa) à une profondeur de 8 cm (3 pouces), environ 100 cm sur la butte au sud de la sonde TDR 0-30 cm. Une valeur de -15 kPa était considérée comme consigne de déclenchement de l'irrigation jusqu'à ce que les cotylédons soient complètement déployés, soit environ les 7 à 10 premiers jours suivants le semi. Passé cette période, une consigne de déclenchement de l'irrigation de -30 kPa était considérée. Un pluviomètre (RG3-M, Onset) était positionné sur la butte à proximité du tensiomètre pour enregistrer les apports d'eau provenant des précipitations et des épisodes d'irrigation. Tous ces appareils étaient reliés à un acquiiseur de données (CR300, Campbell Scientific) prenant des mesures toutes les 5 minutes (Figure 2.5.1). Pour chaque station d'acquisition, un tensiomètre (SR, Irrrometer) supplémentaire muni d'un manomètre était positionné à proximité du tensiomètre relié à l'acquiiseur de données. Cet appareil permettait de confirmer la validité des valeurs enregistrées et de visualiser rapidement l'état hydrique du sol. Quatre stations d'acquisition de données, telles que décrites précédemment, étaient positionnées dans les parcelles. Les quatre stations d'acquisition étaient entourées d'une clôture à neige afin de prévenir les dommages occasionnés aux équipements de mesures par les animaux sauvages.

Le suivi du statut hydrique du sol de ce site n'a été réalisé qu'à la saison 2019. Les apports en eau d'irrigation pour la saison 2018 ont été effectués en se basant sur les données issues du site 1. Cette approche a été jugée adéquate étant donné les textures de sol, ainsi que les dates d'opérations culturales similaires.

3 RÉSULTATS

3.1 PRODUCTIVITÉS DES SYSTÈMES

3.1.1 Caractérisation des cultures de couverture

Le Tableau 3.1.1 présente les biomasses (base sèche) mesurées aux automnes 2017 et 2018. Pour des périodes de production équivalentes (15 septembre au 1^{er} novembre en 2017 et du 13 septembre au 25 octobre en 2018), les biomasses beaucoup plus faibles à l'automne 2018 sont probablement dues aux conditions météorologiques. En effet, il a fait en moyenne 4 degrés plus chaud en 2017, et près de deux fois plus de degrés-jours (Dj) se sont accumulés durant cette période (514 Dj en 2017 et 276 Dj en 2018) (Agrométéo Québec).

Tableau 3.1.1. Biomasses sèches des cultures de couverture de 2017 à 2019.

	Biomasse (kg/ha en base sèche)			
	Automne 2017	Printemps 2018	Automne 2018	Printemps 2019
Avoine-sarrasin	973		221	
Seigle d'automne	1 676	2 594	393	1 195

Le contenu chimique du seigle incorporé au printemps 2018 en azote (total et disponible), P₂O₅ et K₂O était de 77, 46, 23 et 114 kg/ha, respectivement. Le sarrasin et l'avoine étant des plantes annuelles n'ayant pas survécu à l'hiver, aucune donnée n'a été amassée pour ce traitement.

3.1.2 Caractérisation des fertilisants

Le contenu physico-chimique du compost de fumier de bovins et des granules Acti-Sol® appliqués en 2018 et 2019 est présenté aux Tableaux 3.1.2 et 3.1.3.

Tableau 3.1.2. Caractérisation physico-chimique des fertilisants appliqués en 2018.

	pH	Mat. sèches	Cendres	M.O.	C.O.	C/N	N Total	N-NH ₄	N-NO ₃	P	K
			%				ppm (base sèche)				
Compost fumier de bovins	8,13	33,1	36,3	63,7	31,9	27,7	11 501	2,3	348	3 977	16 408
Granules Acti-Sol®	7,09	90,2	27,6	72,4	36,2	6,2	58 054	2 038	6,89	17 151	23 373

	Ca	Mg	Na	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	ppm (base sèche)							
Compost fumier de bovins	11 825	4 209	1 572	67,5	30,2	2 872	251	193
Granules Acti-Sol®	69 338	5 603	4 990	55,3	96,8	726	451	408

Tableau 3.1.3. Caractérisation physico-chimique des fertilisants appliqués en 2019.

	pH	Mat. sèches	Cendres	M.O.	C.O.	C/N	N Total	N-NH ₄	N-NO ₃	P	K
		%						ppm (base sèche)			
Compost fumier de bovins	8,61	30,5	16,2	83,8	41,9	23,6	17 757	1 436	97,4	4 957	18 230
Granules Acti-Sol®	7,45	89,4	26,9	73,1	36,6	7,2	51 020	1 556	70,1	13 617	22 066

	Ca	Mg	Na	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	ppm (base sèche)							
Compost fumier de bovins	11 000	4 600	1 816	12,0	40,0	1 754	241	127
Granules Acti-Sol®	61 650	4 913	4 543	22,3	69,5	1 070	433	404

3.1.3 Rendements de laitue romaine rouge

La présence de tabouret des champs, de bourse-à-pasteur et de pourpier potager au site expérimental était particulièrement importante. En 2018, les parcelles ont été détruites en cours de cycle de laitue afin de procéder à une série de faux semis et ainsi atténuer la présence des mauvaises herbes.

Le désherbage manuel précoce et soutenu en 2019 a permis d'amasser des données de rendement. Ainsi, tous traitements confondus, les rendements ont varié entre 1,3 et 2,7 kg au m.l. (7 109 et 14 000 kg/ha) (base humide). La figure 3.1.1 présente les rendements moyens selon le type de sarcléur mécanique et le nombre d'irrigations durant les faux semis.

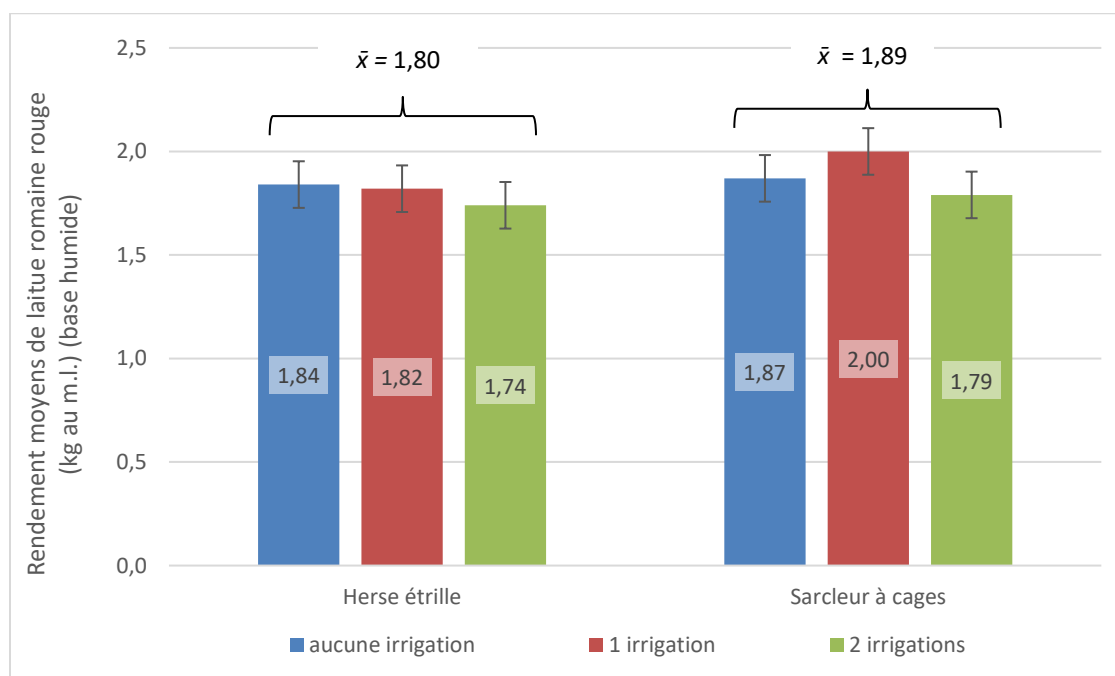


Figure 3.1.1. Rendements moyens de laitue romaine rouge mesurés en 2019 selon le type de sarcléur et le nombre d'irrigations durant les faux semis. Note : La barre d'erreur représente l'erreur-type.

La culture de couverture, le type de sarcléur mécanique et le nombre d'irrigations durant les faux semis n'ont pas eu d'impact statistiquement significatif sur les rendements (Tableau 3.1.4). Il est intéressant de constater que les irrigations durant la période des faux semis n'ont pas eu d'impact sur les rendements, ni sur les populations de mauvaises herbes à la récolte (voir section 3.3). Il est toutefois important de noter que cette observation aurait pu être différente sous une autre consigne d'irrigation que -15 kPa. Des mesures à plus long terme sont cependant requises pour confirmer cette tendance.

Le seul effet significatif s'est retrouvé au niveau de l'interaction entre le type de sarcléur et le nombre d'irrigations sur le taux de matières sèches des feuilles. En effet, le nombre d'irrigations a un effet contraire selon que l'on utilise le sarcléur à cages ou la herse étrille. Plus on irrigue durant les faux semis, plus les feuilles sont sèches avec le sarcléur à cages, et plus elles sont humides avec la herse étrille (figure 3.1.2). Les taux de matières sèches varient globalement de 7 à 10 %. Cependant, cet impact, bien que significatif, n'a pas d'impact réel pour l'industrie.

Tableau 3.1.4. Tests des effets fixes de type 3 pour trois variables mesurées dans la laitue romaine rouge en 2019.

Effet	Probabilité (Pr > F)		
	Rendement humide (kg/ha)	Rendement sec (kg/ha)	Matières sèches (%)
Culture ce couverture (CC)	0.7326	0.6614	0.3069
Sarcléur (S)	0.5179	0.9358	0.9099
Nombre d'irrigations (Irr)	0.4270	0.7419	0.9053
Interaction CC*S	0.4301	0.6626	0.8204
Interaction CC*Irr	0.8183	0.5190	0.2173
Interaction S*Irr	0.7444	0.1299	0.0162
Interaction CC*S*Irr	0.3185	0.2788	0.2458

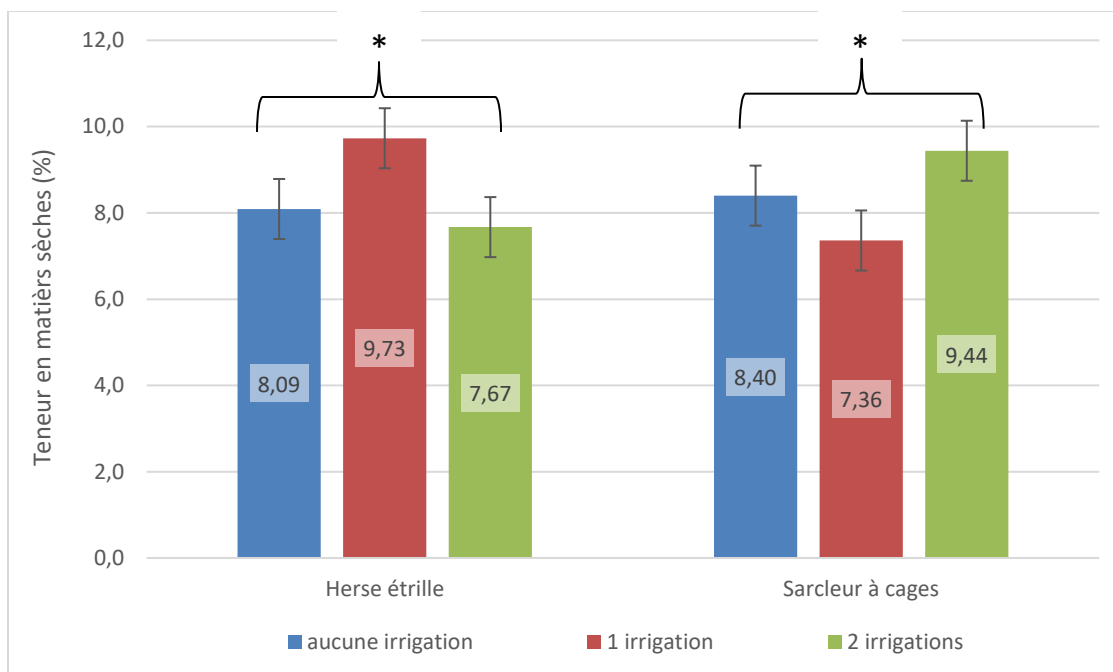


Figure 3.1.2. Effet du nombre d'irrigation sur la teneur en matières sèches des feuilles de laitue rouge selon le type de sarcleur en 2019. Notes: La barre d'erreur présente l'erreur-type. L'astérisque illustre une différence significative à $P < 0.05$.

3.1.4 Rendements de roquette

En 2018, les rendements totaux mesurés incluaient les plants de tabouret des champs et de bourse-à-pasteur, qui n'ont pas pu être différenciés des plants de roquette lors du désherbage manuel. Les rendements en roquette ont été estimés en déduisant les populations des deux mauvaises herbes dénombrées par parcelle. Les populations de mauvaises herbes n'ayant pas été mesurées dans les mêmes quadrats que ceux où la roquette a été récoltée, les données présentées pour 2018 sont des estimations.

Ainsi, tous traitements confondus, les rendements moyens estimés en roquette étaient de 5 949 kg/ha (1,16 kg/m.l.). La variabilité était très grande, soit entre 0,04 à 2,28 kg/m.l. (189 et 11 702 kg/ha) (base humide). Aucun des facteurs n'a eu un impact statistiquement significatif sur les rendements (Tableau 3.1.5). Cependant, certaines tendances peuvent être établies. L'ensemble des résultats est présenté au Tableau 3.1.6. D'abord, les rendements ont été supérieurs dans les parcelles sous un retour de seigle. Ensuite, qu'il ait été précédé de l'utilisation de la herse étrille ou du sarcleur à cages, le vinaigre + savon appliqué en pré-levée de la roquette présente une tendance positive sur les rendements estimés de roquette. Comme dans le cas du retour de seigle, il est probable que la roquette ait un peu mieux réussi à compétitionner les mauvaises herbes. Bien que la différence ne soit pas statistiquement significative, les relevés malherbologiques avaient également montré une tendance voulant que l'application en pré-levée soit la plus efficace à contrôler les mauvaises herbes (section 3.3).

Tableau 3.1.5. Tests des effets fixes de type 3 pour les rendements estimés de roquette en 2018.

Effet	Probabilité (Pr > F)
	Rendements (kg/ha)
Culture ce couverture (CC)	0.2518
Sarcler (S)	0.8650
Bioherbicide (H)	0.4002
Interaction CC*S	0.9785
Interaction CC*H	0.9948
Interaction S*H	0.9491
Interaction CC*S*H	0.7233

Tableau 3.1.6. Rendements estimés de roquette en 2018 selon le facteur étudié.

Traitement	Rendement humide (kg au m.l.)
Culture ce couverture	
Seigle	1,50
Avoine-sarrasin	1,03
Témoin	0,91
Opération mécanique	
Herse étrille	1,15
Sarcler à cages	1,13
Bioherbicide	
Vinaigre + savon en pré-levée	1,30
Vinaigre + savon en pré-semis	1,11
Répétition de l'opération mécanique	1,02

En 2019, les traitements bioherbicides ont été abandonnés afin d'évaluer l'impact du nombre d'irrigation durant la période des faux semis. Les rendements de roquette mesurés n'ont pas été ajustés en fonction des populations de mauvaises herbes, celles-ci ayant été désherbées adéquatement. Donc, de façon générale, les rendements ont varié entre 1,43 et 2,91 kg au m.l. (7 348 et 14 935 kg/ha) (base humide). Aucun des facteurs évalués n'a eu un impact significatif sur les rendements (Tableau 3.1.7). L'ensemble des résultats par traitement est présenté au Tableau 3.1.8.

Tableau 3.1.7. Tests des effets fixes de type 3 pour les rendements de roquette en 2019.

Effet	Probabilité (Pr> F)		
	Rendement humide (kg/ha)	Rendement sec (kg/ha)	Matières sèches (%)
Culture ce couverture (CC)	0.6884	0.9739	0.7931
Sarcler (S)	0.5101	0.1957	0.5214
Nombre d'irrigations (Irr)	0.3193	0.2717	0.6399
Interaction CC*S	0.4647	0.5079	0.9108
Interaction CC*Irr	0.1052	0.2709	0.6399
Interaction S*Irr	0.8096	0.5765	0.7225
Interaction CC*S*Irr	0.6927	0.6036	0.3815

Tableau 3.1.8. Rendements estimés de roquette en 2019 selon le facteur étudié.

Traitement	Rendement humide (kg au m.l.)
Culture ce couverture	
Seigle	1,98
Avoine-sarrasin	2,21
Témoin	2,08
Opération mécanique	
Herse étrille	2,12
Sarcler à cages	2,06
Nombre d'irrigations durant les faux semis	
Aucune	2,17
Irrigation suite au 1 ^{er} faux semis	2,10
Irrigation suite au 1 ^{er} et au 2 ^e faux semis	2,00

Comme dans le cas de la laitue romaine rouge produite au premier cycle, le nombre d'irrigations durant les faux semis n'a pas eu d'impact sur les rendements de roquette, remettant peut-être en question cette opération s'il n'y a pas eu non plus d'impact sur les populations de mauvaises herbes (section 3.3). Une prise de données sur plusieurs années permettrait cependant de confirmer cette tendance.

3.2 ENTOMOLOGIE

Les résultats de 2018 pour la culture de laitue frisée rouge ne sont pas illustrés, car il y a eu une très faible présence de ravageurs. Étant donné l'abandon des parcelles dû à l'abondance de mauvaises herbes, les données de dommages à la récolte n'ont pas été prises et les données de dépistage ne sont pas présentées pour 2018. En 2019, toutes les données nécessaires ont été prises. À la suite d'une analyse avec un modèle linéaire mixte généralisé avec la procédure GLIMMIX (SAS Version 9.4), il y a eu très peu de ravageurs et il n'y a pas de différence

entre les traitements pour les dommages ($F=0,48$; $df=3$; $p=0,7137$). Il n'y aura donc pas davantage de résultats présentés pour la culture de la laitue frisée rouge.

En 2018, il y a eu introduction de manière préventive à chaque semaine des acariens *N. cucumeris*, *S. scimitus* pour leur établissement. Puis, le seuil pour les thrips a été atteint et il y a eu observation de dommages au champ. Il y a donc eu une application de Trounce® dans les parcelles bioinsecticides uniquement. Considérant le nombre élevé de thrips et considérant que les prédateurs naturels ne seraient pas suffisamment efficaces, il y a eu une application de Entrust® sc dans les parcelles bioinsecticides et prédateurs naturels. Le choix du Trounce®, bien qu'homologué uniquement pour la laitue frisée rouge, a été fait pour pouvoir avoir deux régies différentes à comparer lorsque l'on considère que les acariens prédateurs initialement introduits ont dû être négativement affectés par l'Entrust® sc. Ensuite, les acariens *N. cucumeris*, *S. scimitus* ont continué à être introduits. Puis, lors de la dernière semaine, lorsque les dommages de thrips étaient plus importants, il y a eu introduction de *D. coriaria*.

En 2019, le seuil de dommage de 3 % a été atteint dès la première semaine et le seuil a dépassé le 4 % et le 5 % la deuxième et troisième semaine respectivement. À la suite de la qualification des dommages les plus présents au champ et selon les traitements, il y a eu application du Entrust® contre les altises dans les parcelles bioinsecticides uniquement et dans les parcelles à régie mixte le 22 août et le 27 août. Dans les parcelles à régie mixte, il y a eu introduction de tous les prédateurs naturels de manière préventive à partir du 15 août, puis à chaque semaine (23 et 29 août). *Chrysoperla carnea* a été introduit très tôt (dès la sortie des pousses) et ensuite à répétition aux semaines, car elle est mise au champ sous forme d'œufs et prend 6-10 jours pour se développer en larve (Plant Products et Anatis Bioprotection).

Les pourcentages de dommages sur les feuilles de roquette lors du dépistage sont présentés à la Figure 3.2.1 selon la date et l'année. Un modèle linéaire généralisé avec une fonction de lien log pour des données de sur-dispersion pour une variable réponse à caractère binomial, ainsi que des mesures répétées a été utilisé pour cette analyse avec la procédure GLIMMIX (SAS Version 9.4). À la suite du test des effets fixes sur les données de 2018, il y a un effet significatif de la semaine ($F= 7,50$; $df= 4$; $p=0,0003$), mais pas du traitement ($F= 2,23$; $df= 2$; $p=0,1146$) et l'interaction de ces deux effets n'est pas significative ($F=0,71$; $DF=8$; $p=0,6818$). Il n'y a donc pas d'effet significatif des traitements. La chute dans le pourcentage de plants endommagés en date du 4 septembre peut être expliquée par un biais d'observation quant à l'identification de la roquette versus le tabouret des champs et la bourse à pasteur. Les observateurs ont peut-être confondu certains plants de roquette avec des mauvaises herbes qui étaient endommagées par les insectes. Ainsi, le 30 août 2018, il y a eu désherbage des parcelles avant de faire les applications phytosanitaires, ce qui a provoqué une diminution drastique du nombre de plants endommagés. À la suite du test des effets fixes sur les données de 2019, il y a un effet significatif du traitement ($p= 0,0700$) et de la semaine ($p< 0,0001$), cependant l'interaction n'est pas significative. Il y a donc eu interprétation par différences deux à deux entre les traitements, ainsi qu'un rapport de cotes (*odds ratio*). Ainsi, en 2019, il y a une différence significative entre le témoin et le traitement bioinsecticides combinés aux prédateurs naturels ($p= 0,0245$, rapport de cotes = 0,49) et ce, toutes dates confondues. Bien que chacune des feuilles étaient marquées, il y a eu à quelques reprises changement de feuilles suivies au cours de la croissance du plant. Une feuille était

considérée endommagée à partir d'un dommage et plus. Initialement, la première ou deuxième vraie feuille avait été identifiée pour être suivie tout au long du cycle de production. Dans certains cas, les feuilles suivantes (3^e et +) ont poussé davantage ne permettant pas aux premières feuilles de croître. Dans le cas où la feuille identifiée est restée sous la canopée, à l'abri des dommages de ravageurs, une nouvelle feuille a été identifiée. Ce changement de feuille peut expliquer la baisse dans le pourcentage de feuilles endommagées au 26 août 2019. Cette modification a aussi été mise de l'avant considérant que les feuilles plus petites, près des racines ne seraient pas commercialisées par un producteur.

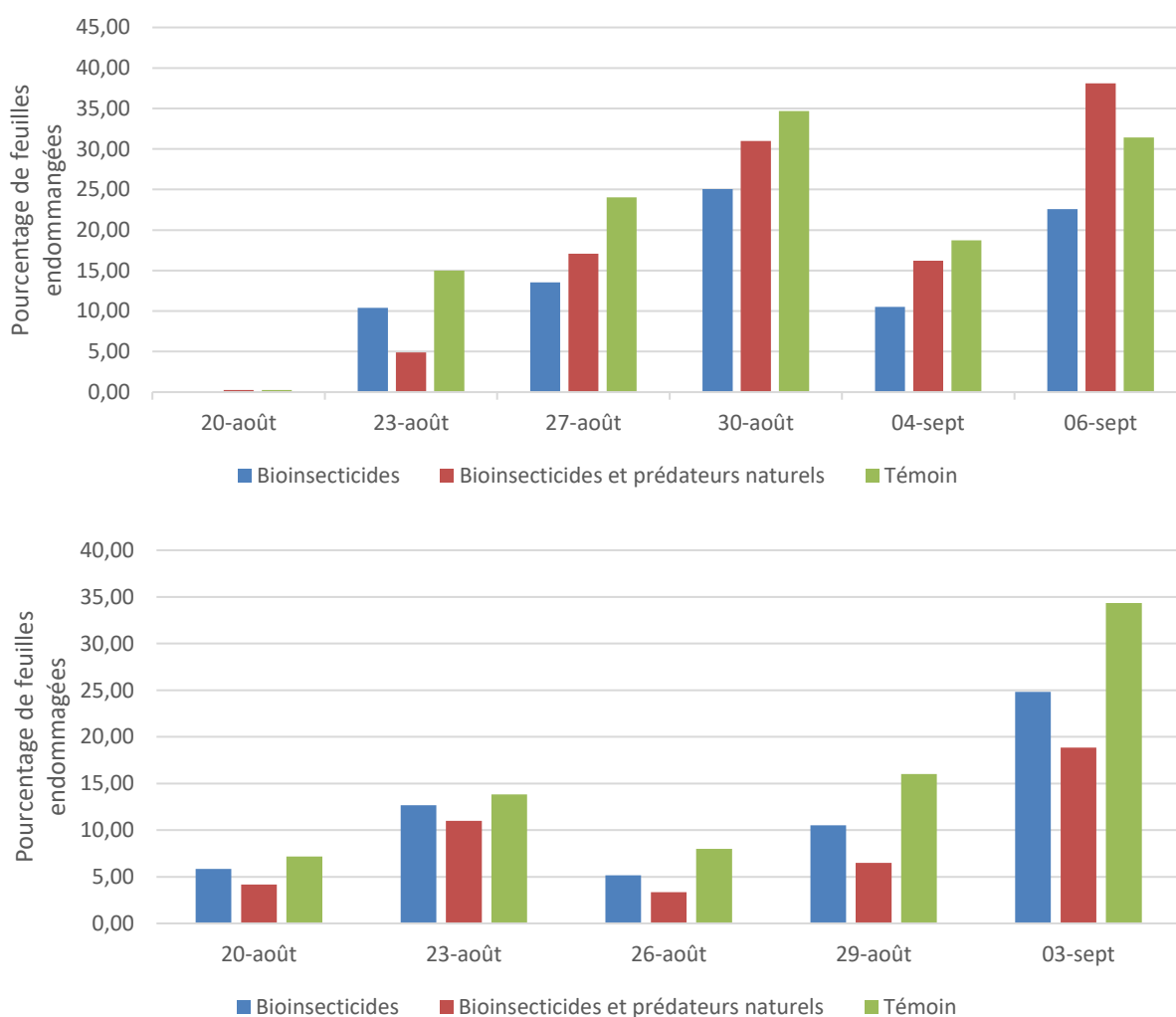


Figure 3.2.1. Pourcentage moyen de feuilles de roquette endommagés lors du dépistage par traitement et par date pour 2018 (haut) et pour 2019 (bas).

La Figure 3.2.2 présente le nombre de dommages recensés sur les feuilles de roquette, selon le traitement à la récolte.

Les résultats des deux années ont été analysés avec un modèle linéaire mixte généralisé avec une fonction de lien log pour une variable réponse de dénombrement et une distribution Poisson a été utilisée à l'aide de la procédure GLIMMIX (SAS Version 9.4).

En 2018, bien que les parcelles sous bioinsecticides tendent à présenter un moins grand nombre de dommages, il n'y avait aucune différence significative entre les traitements ($F=1,46$; $df=2$; $p=0,2751$). En 2019, il n'y avait aucune différence significative entre les traitements ($F=11,43$; $df=2$; $p=0,2047$), même s'il semble y avoir une tendance de moins de dommages dans les parcelles avec régie mixte (Figure 3.2.2).

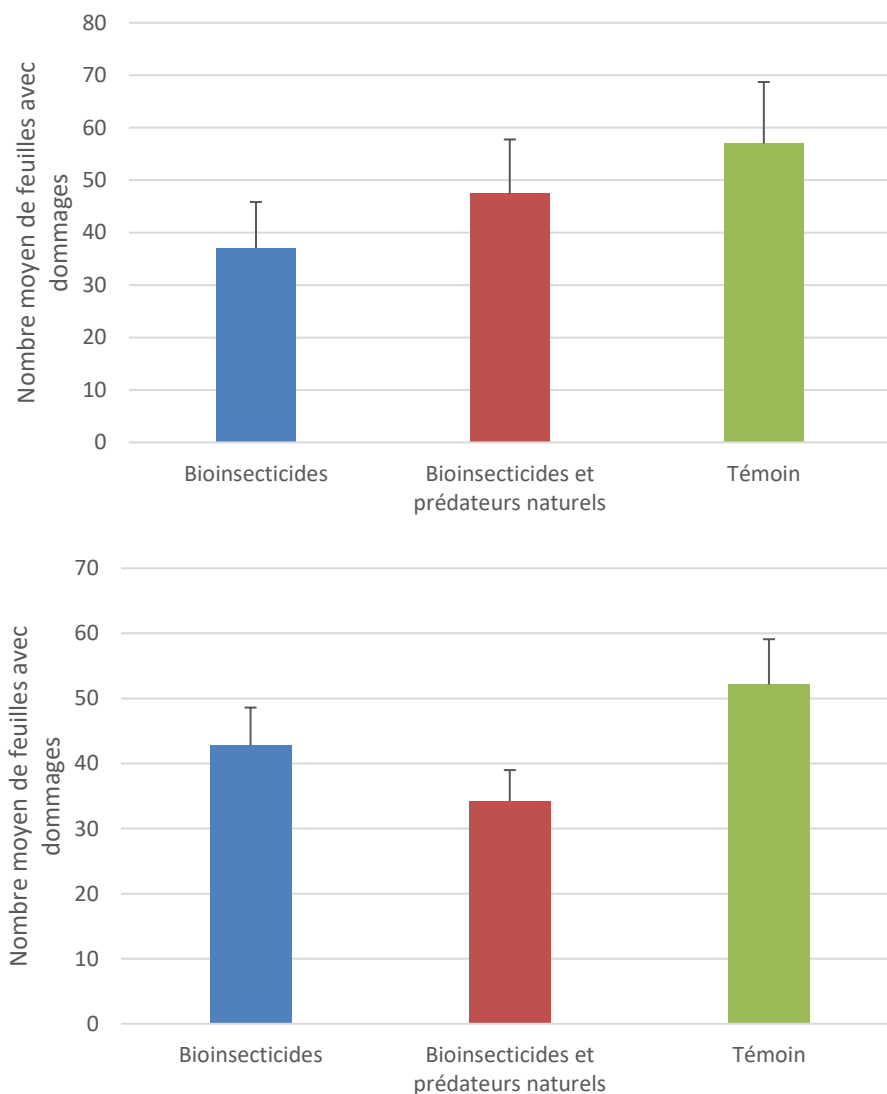


Figure 3.2.2. Nombre moyen de feuilles avec dommages ($\pm ET$) par plant pour les différentes régies de protection phytosanitaire à la récolte en 2018 (haut) et 2019 (bas).

En somme, le dépistage des ravageurs au champ est une observation complexe qui dépend de plusieurs facteurs abiotiques (température, humidité, etc...), mais aussi du moment temporel du dépistage et de la pression de ceux-ci sur le site. La laitue frisée rouge semble être une jeune pousse assez facile à cultiver sur notre site, puisque peu de ravageurs s’y sont intéressés. En revanche, la roquette nécessite une gestion entomologique assidue. L’utilisation de produits phytosanitaires peut être une avenue pour la gestion des ravageurs dans cette culture. Cependant, puisque le dépistage visuel n’est pas évident, il est difficile de cibler précisément le ravageur causant des dommages et de quantifier si le seuil agronomique a été atteint. Ainsi, il est d’autant plus difficile de sélectionner le produit phytosanitaire homologué. Enfin, pour certains ravageurs, il n’y a pas de produits phytosanitaires homologués pour la régie biologique.

De ces faits, il est pertinent d’utiliser les introductions de prédateurs naturels. En premier lieu, les divers prédateurs naturels s’attaquent souvent à plusieurs ravageurs différents. En second lieu, à la suite d’introductions tôt en culture et à répétition, il est possible créer une bonne pression de prédateurs sur les ravageurs de la culture. Il semble aussi possible de jumeler les introductions de prédateurs naturels avec des applications de produits phytosanitaires lorsque les taux de ravageurs sont trop hauts.

Bien que les différents traitements montrent des tendances sur les dommages lors des dépistages au champs, ces observations ne sont pas reflétées lors du décompte des dommages à la récolte. Il est important de savoir que la quantification des dommages à la récolte a été assez sévère comparativement au déclassement commercial, ce qui pourrait expliquer les résultats.

Il est clair que la gestion des mauvaises herbes est un réel enjeu pour la gestion des ravageurs. En effet, il est connu que l’altise du navet et l’altise des crucifères sont attirées par les mauvaises herbes suivantes : tabouret des champs, chénopode blanc et sagesse-des-chirurgiens (Roy et al., nd)¹². De plus, le tabouret des champs et la roquette sont des plantes très similaires morphologiquement à leur jeune stade.

3.3 MALHERBOLOGIE

3.3.1 Modélisation de la levée des mauvaises herbes au champ

La levée cumulée de l’ensemble des mauvaises herbes présentes est représentée en fonction de la date d’observation en 2018 (Figure 3.3.1) et en 2019 (Figure 3.3.2). Parmi ces espèces, neuf d’entre elles avaient une abondance importante et pourraient être soumises à la création de modèles plus avancés : le pourpier potager, le tabouret des champs, le rorippe d’Islande, le chénopode blanc, l’amarante à racine rouge, la potentille de Norvège, le céraiste vulgaire (*Cerastium fontanum* Baumg), le pâturin annuel (*Poa annua* L.) et la bourse-à-pasteur. Ces principales espèces représentent 93,8 % des observations totales au cours de la saison en 2018 et 86,5 % en 2019. Comme mentionné précédemment, trois espèces ont fait l’objet d’analyses plus poussées afin de modéliser la levée de celles-ci lors des deux ans d’observations.

¹² Roy et al., nd. Laboratoire de diagnostic en phytoprotection- Fiche technique sur les altises du canola. MAPAQ.

La levée observée de chacune des espèces selon les six premiers traitements de travail de sol est représentée à la Figure 3.3.3 pour le chénopode blanc, à la Figure 3.3.4 pour le pourpier potager et à la Figure 3.3.5 pour la bourse-à-pasteur. La représentation de la levée et la modélisation subséquente ont été faites spécifiquement pour ces traitements, car ceux-ci correspondent aussi à la période où la culture de laitue a été mise en place.

Chez le chénopode blanc, la levée maximale a été observée peu de temps après le dernier travail de sol pour chaque traitement. Par la suite, très peu d'individus ont été observés. Cependant chez la bourse-à-pasteur et le pourpier potager, plusieurs phases de levée importantes ont été observées chez un même traitement. De plus, ces phases de levée importante semblent se produire simultanément entre les différents traitements. Puisqu'il s'agit de deux espèces dont les graines requièrent une stratification par la chaleur¹³ pour sortir de dormance, ce phénomène pourrait s'expliquer en partie par une levée de la dormance chez une portion des graines dans le sol au courant de l'été. C'est aussi ce qui explique que la modélisation par une équation bimodale est plus adéquate pour ces espèces.

¹³ Baskin CC, Baskin JM, 1998. A geographical perspective in germination ecology: temperate and arctic zones. Pages 375-379 dans Baskin, Baskin, eds. *Seeds: Ecology, Biogeography and evolution of dormancy and germination*. San Diego, CA: Elsevier

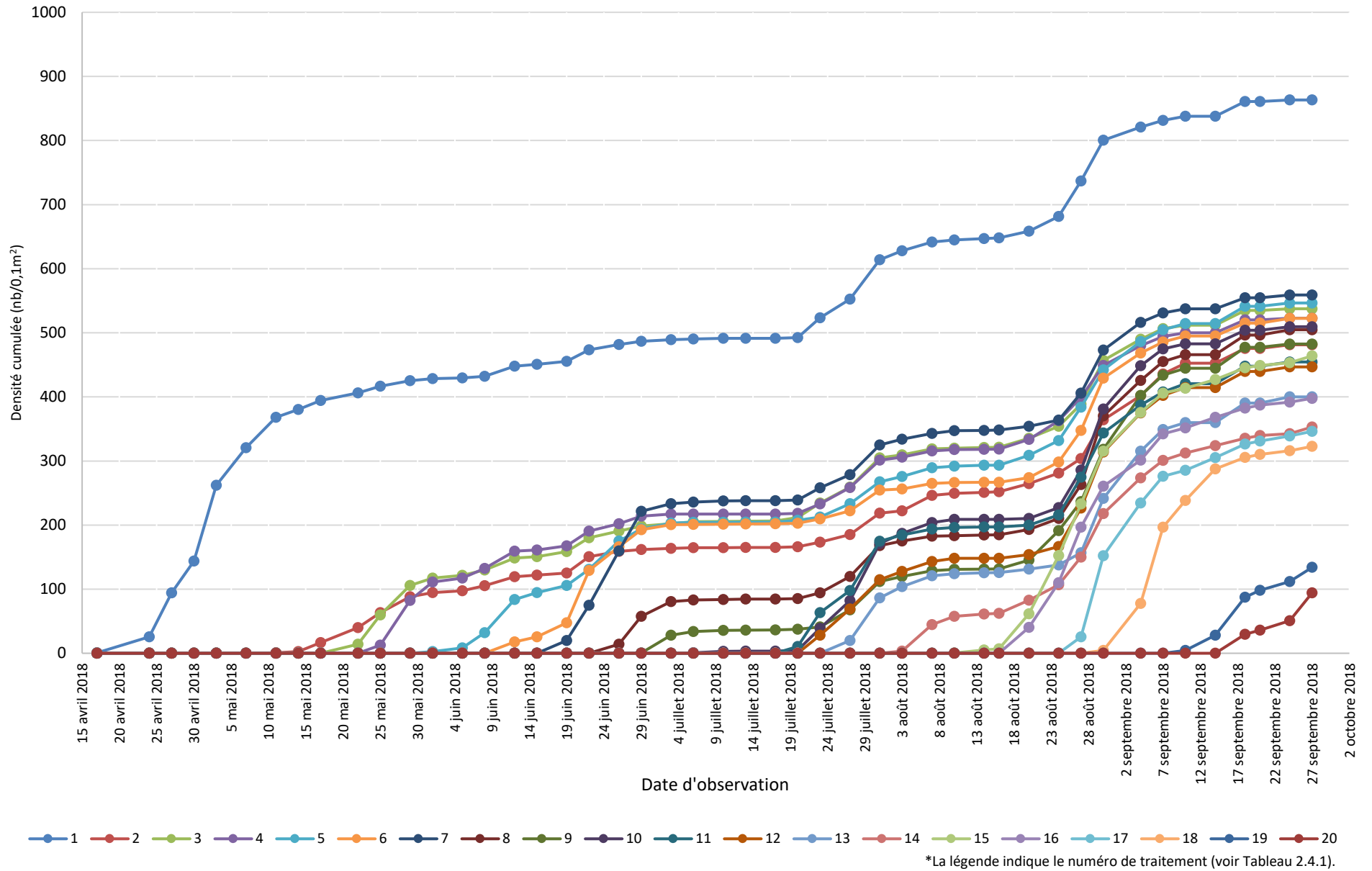


Figure 3.3.1. Levée cumulative de l'ensemble des mauvaises herbes en fonction des dates d'observation en 2018.

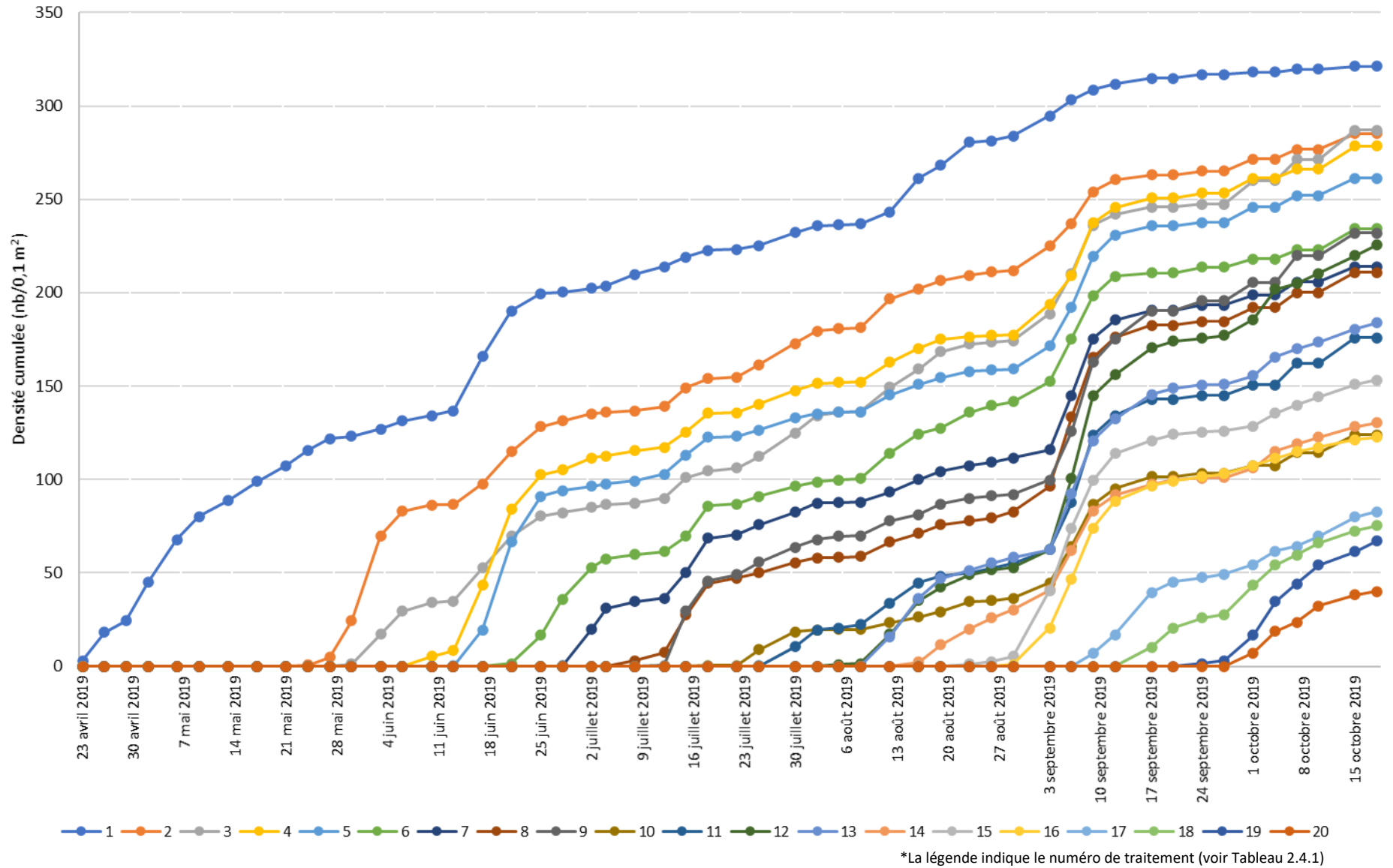
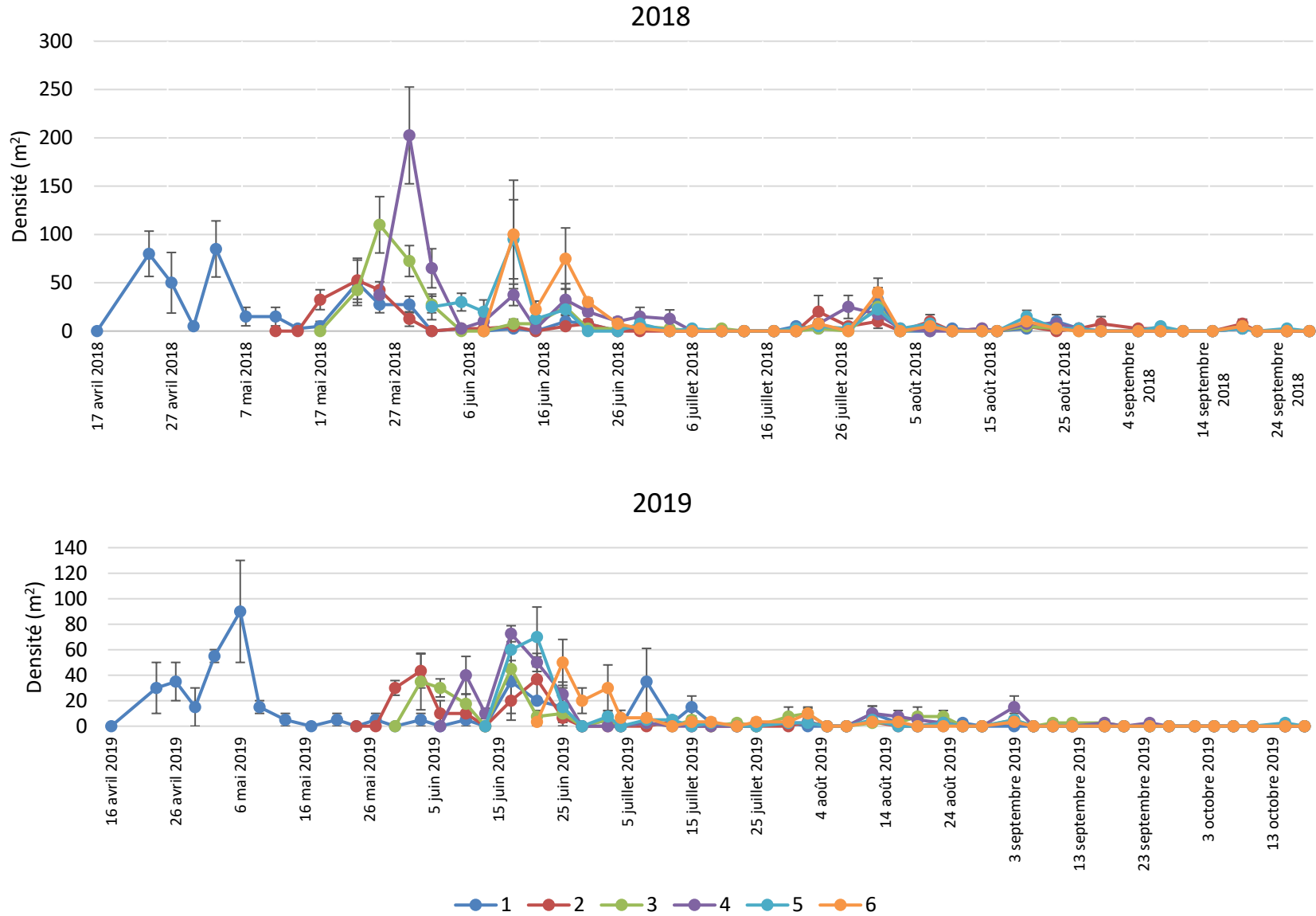
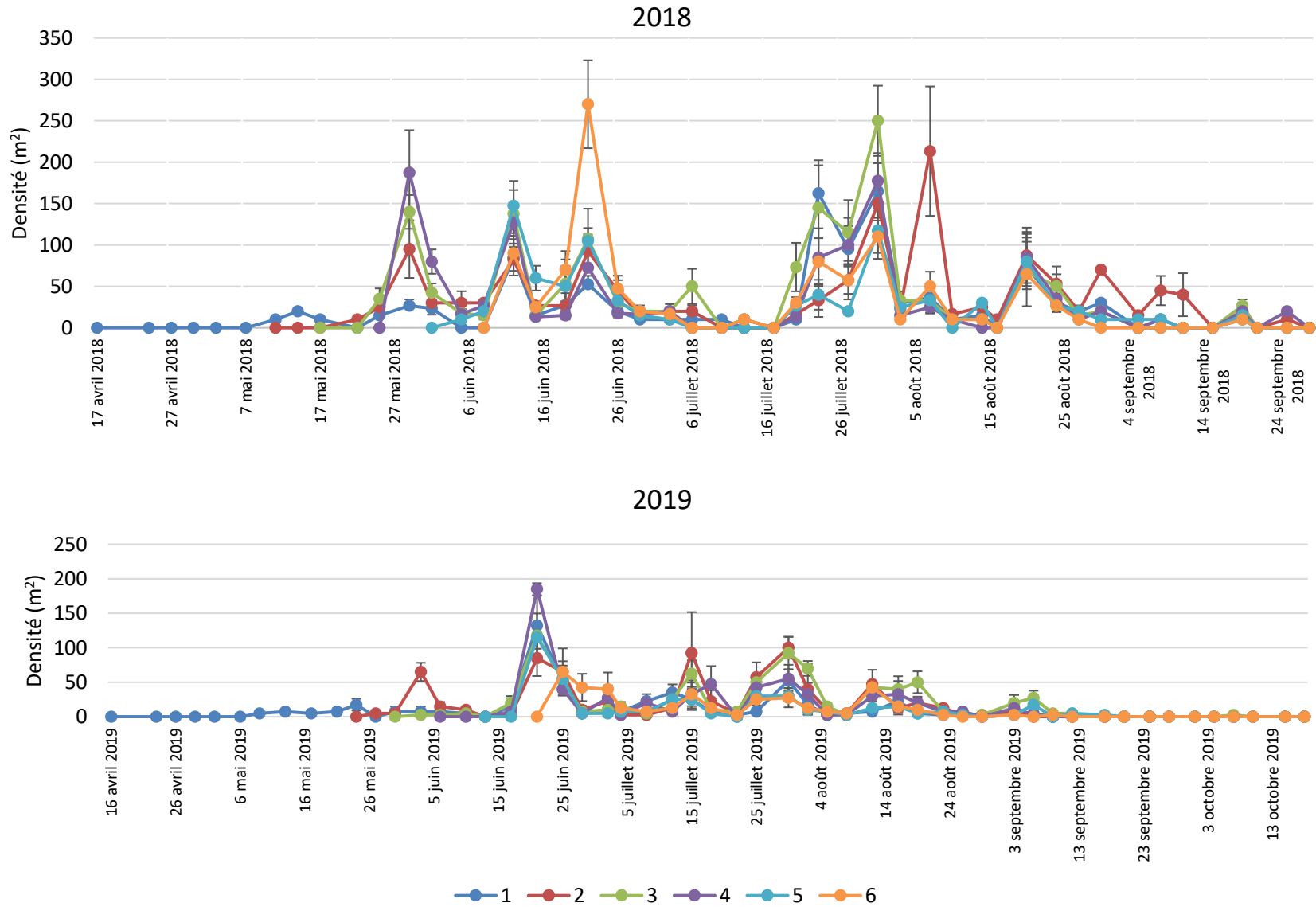


Figure 3.3.2. Levée cumulative de l'ensemble des mauvaises herbes en fonction des dates d'observation en 2019.



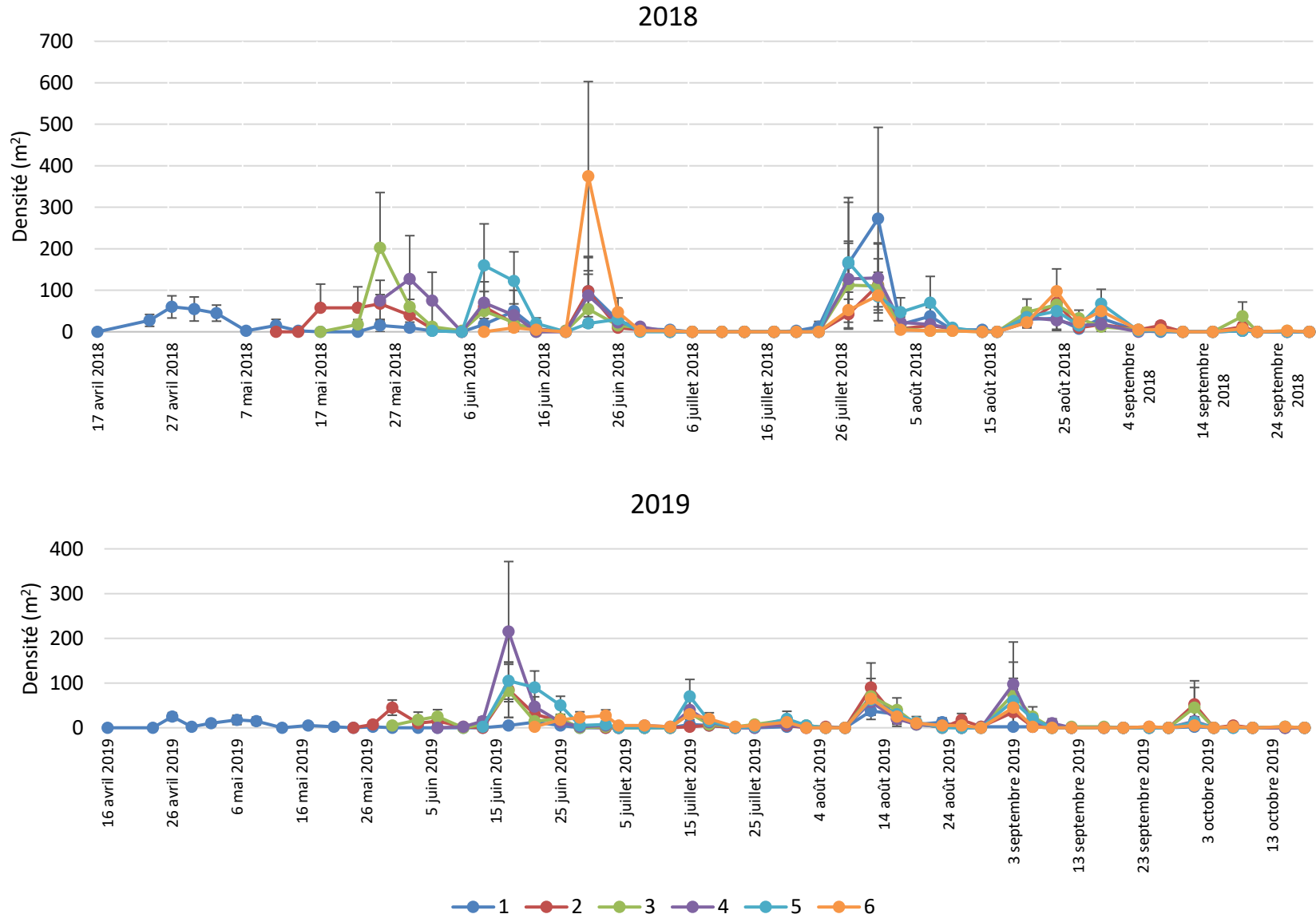
*La légende indique le numéro de traitement (Tableau 2.4.1). Les barres d'erreurs représentent l'erreur type.

Figure 3.3.3. Levée ponctuelle observée du *Chenopodium album* en terre organique en 2018 et 2019.



*La légende indique le numéro de traitement (Tableau 2.4.1). Les barres d'erreurs représentent l'erreur type.

Figure 3.3.4. Levée ponctuelle observée du *Portulaca oleracea* en terre organique en 2018 et 2019.



*La légende indique le numéro de traitement (Tableau 2.4.1). Les barres d'erreurs représentent l'erreur type.

Figure 3.3.5. Levée ponctuelle observée du *Capsella Bursa-pastoris* en terre organique en 2018 et 2019.

L'ensemble des modèles et leurs paramètres pour chacune des années d'observation ainsi que les modèles développés en compilant les deux ans d'expérimentation sont présentés dans le tableau de l'annexe B.1. L'ensemble des courbes modélisées ont un R^2 moyen de 0,892. Pour les traitements plus tardifs, où le dernier travail de sol est fait en juillet et août, les courbes de type Weibull sont plus adéquates que les bimodales pour expliquer la levée pour la bourse-à-pasteur et le pourpier potager. Aussi, le manque de données pour les traitements vers la fin août et septembre selon les espèces ne nous permettait pas de générer des modèles valides.

La levée dans les six premiers traitements a été modélisée à l'aide de l'équation de Weibull pour le chénopode blanc (Figure 3.3.6) et l'équation bimodale Weibull et logistique pour la bourse-à-pasteur et le pourpier potager (Figure 3.3.7 et 3.3.8). Pour le chénopode blanc, on observe que les courbes sont assez similaires, même si les traitements 2 à 5 semblent avoir une pente plus abrupte. Chez le pourpier potager, on distingue une nette progression des courbes vers la verticale, où le plateau de la première phase correspond à un pourcentage de plus en plus élevé, est de moins en moins long. Les patrons de levée de la bourse-à-pasteur sont similaires à ceux du pourpier où le plateau de la première phase semble rétrécir et où la deuxième phase de levée s'observe de plus en plus tôt.

En 2019, les modèles ont été comparés aux valeurs de levée des mauvaises herbes dans le premier cycle de la production de laitue : à partir de la formation de la butte et de chacun des trois faux semis jusqu'à la récolte de la culture. Les valeurs observées et prédites de la levée de chénopode blanc, de bourse-à-pasteur et de pourpier potager sont représentées dans les Figures 3.3.9, 3.3.10 et 3.3.11 respectivement. Les données sont très préliminaires et ne représentent qu'un cycle de production pour une seule année. Les modèles ne sont pas parfaits, mais il semble y avoir une certaine concordance avec les valeurs observées. Les valeurs de R^2 correspondent ici à la corrélation entre les valeurs prédites et la moyenne des valeurs observées. Pour le chénopode, les modèles de la levée suite à la création de la butte et du premier faux semis semblent plus précis pour prédire la proportion de la population atteinte par les opérations de faux semis. Le troisième semble légèrement sous-estimer la levée et le dernier semble légèrement surestimer la levée. Pour la bourse-à-pasteur, les deux premiers modèles sous-estiment légèrement la levée, mais néanmoins se retrouvent dans les mêmes ordres de grandeur. Les modèles permettent de prédire que le pourpier potager s'établira à la suite des interventions de faux semis.

Malgré les avancées réalisées au cours du projet, il est important de garder en perspective les limites des modèles présentés ici. Encore plusieurs années de collecte de données sur la levée seraient nécessaires pour obtenir un modèle robuste de prédiction de levée pour chacune des mauvaises herbes. Ceci nous permettrait de confirmer les patrons de levées, cibler les situations atypiques observées et voir la constance de nos modèles à travers le temps. Il est aussi important de se rappeler que les valeurs des températures cardiales et les seuils limites d'humidité permettant la germination ont été estimés et pourraient donc apporter une variabilité non négligeable dans le potentiel de prédiction des modèles. Une des façons de confirmer ces paramètres de germination serait de réaliser des essais en chambre de croissance où les graines des espèces à l'étude serait exposées à une série de combinaisons de températures et l'humidité pour ainsi établir avec certitude les valeurs de température de base, température optimale, maximale et le seuil d'humidité. De plus, il existe un phénomène rapporté dans la

littérature où on observe que la germination selon un gradient d'humidité change en fonction de la température d'exposition chez certaines espèces. Aussi, il a été observé que les températures de base changent au cours de la saison. Ces phénomènes ne sont pas pris en compte dans les modèles établis ici.

Malgré tout, l'expérience réalisée dans ce projet et les données recueillies nous permettent de croire qu'il serait réalisable à long terme de modéliser la levée des mauvaises herbes sur les planches de production de jeunes pousses et, potentiellement, prédire les proportions des populations détruites par les faux semis et celles qui s'établiront dans les cultures. Cependant, les modèles ne nous permettent pas de prédire la densité de mauvaises herbes qui pourraient avoir une incidence sur la décision du nombre de faux semis à réaliser.

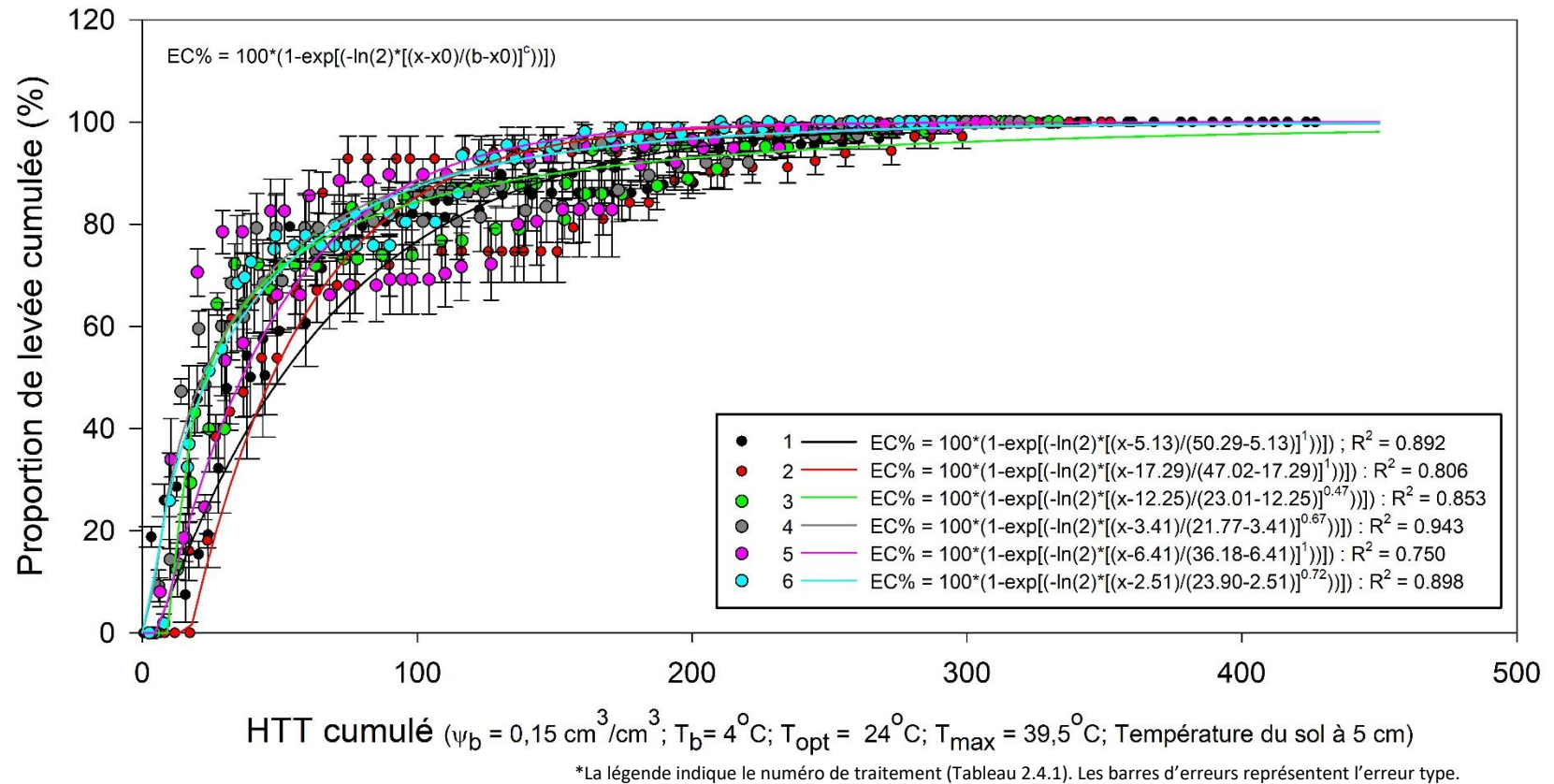
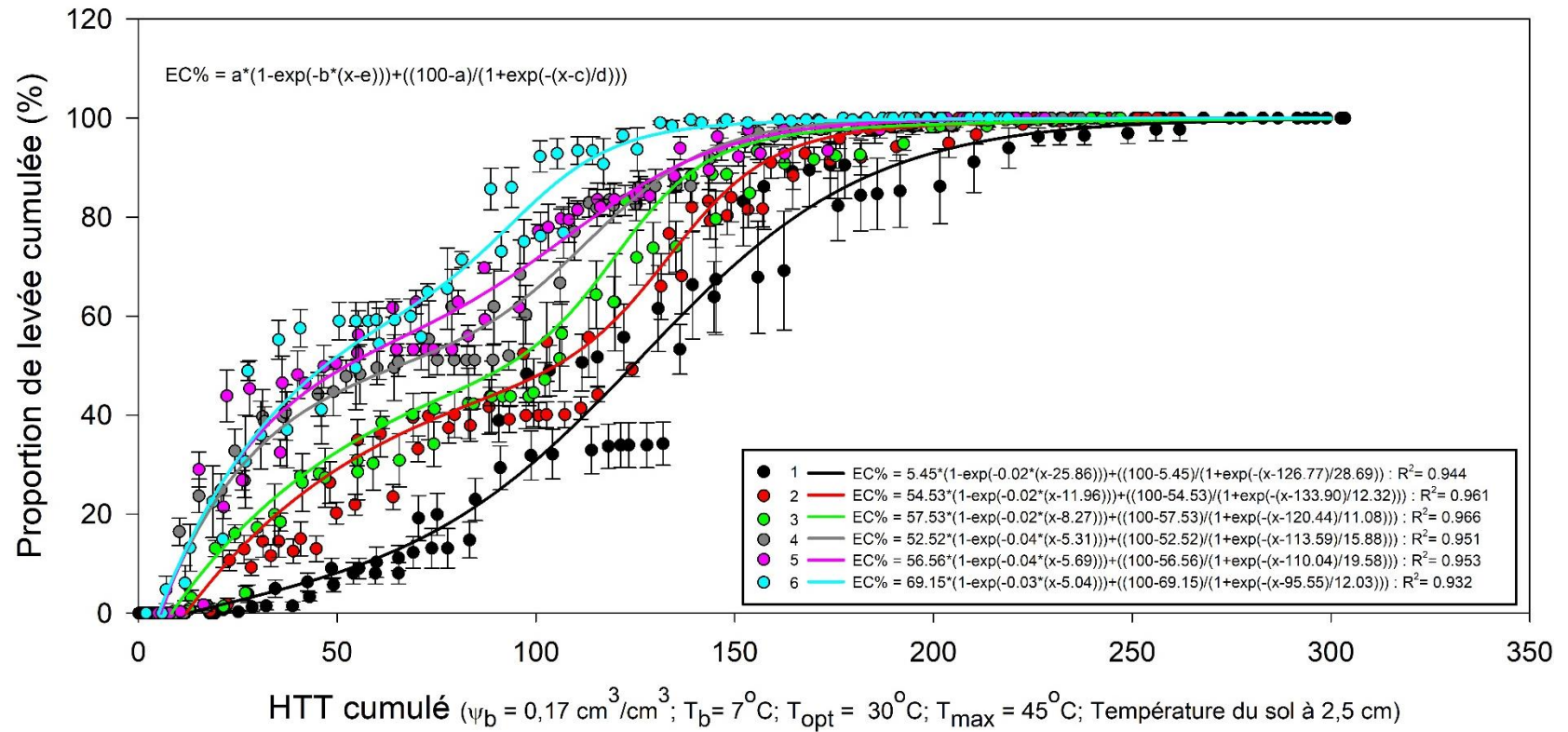
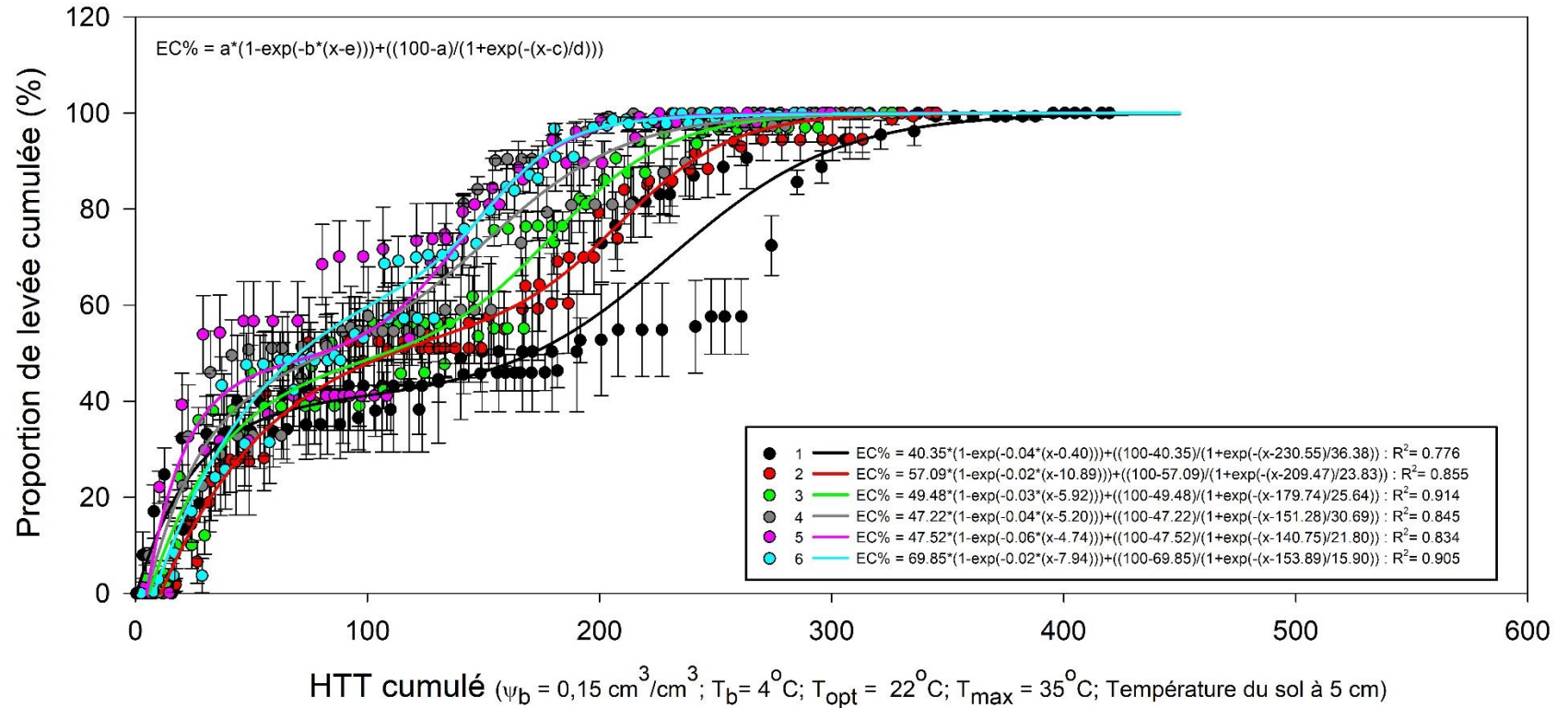


Figure 3.3.6. Levée du *Chenopodium album* en terre organique en fonction de l'accumulation de temps hydrothermal depuis le dernier travail de sol.



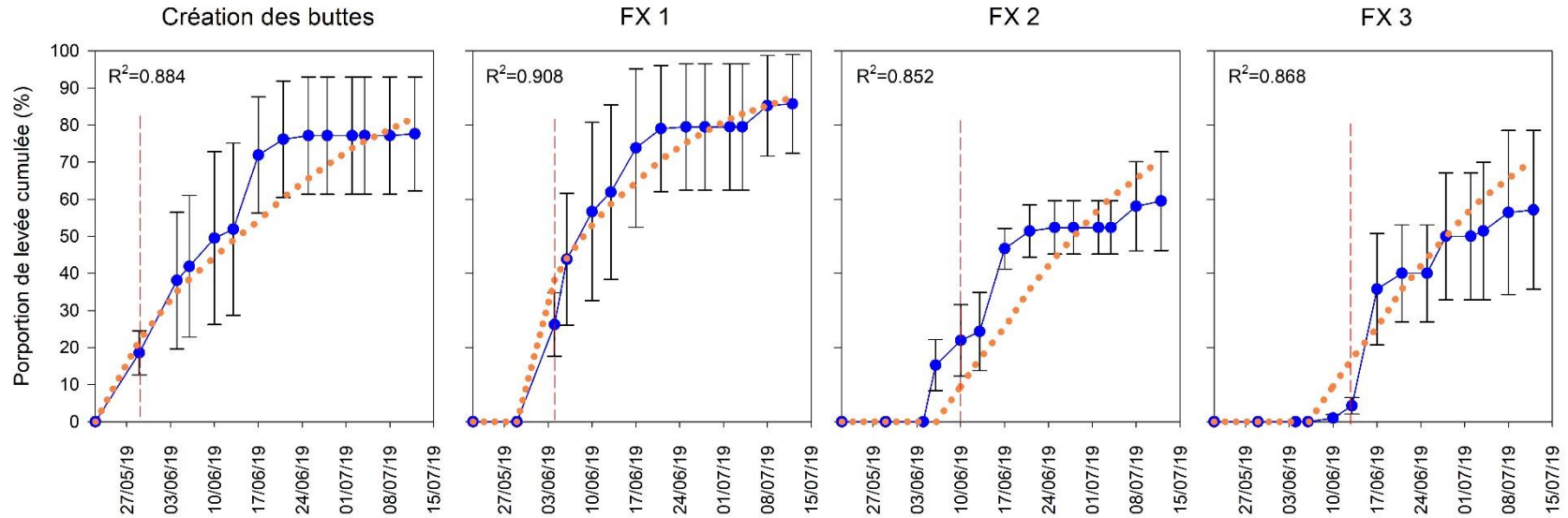
*La légende indique le numéro de traitement. Les barres d'erreurs représentent l'erreur type.

Figure 3.3.7. Levée de *Portulaca oleracea* en terre organique en fonction de l'accumulation de temps hydrothermal depuis le dernier travail de sol.



*La légende indique le numéro de traitement. Les barres d'erreurs représentent l'erreur type.

Figure 3.3.8. Levée de *Capsella Bursa-pastoris* en terre organique en fonction de l'accumulation de temps hydrothermal depuis le dernier travail de sol.



*Les barres d'erreurs représentent l'erreur type. La barre verticale rouge représente le moment où l'opération suivante a été effectuée. Les modèles utilisés pour générer les valeurs prédites lors de la création des buttes, du faux semis 1 (FX 1), faux semis 2 (FX 2) et faux semis 3 (FX3) correspondaient respectivement à ceux des traitements 1, 4, 1 et 1. Le choix de ces modèles était basé sur une meilleure correspondance avec les valeurs observées.

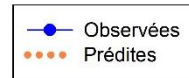
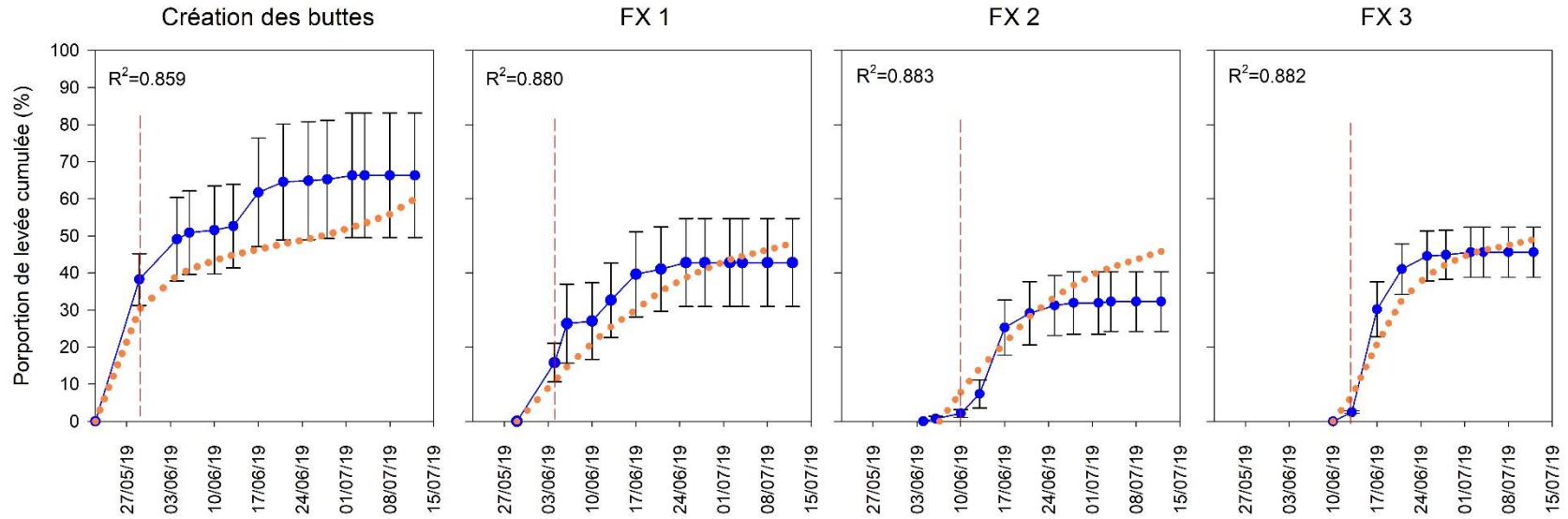


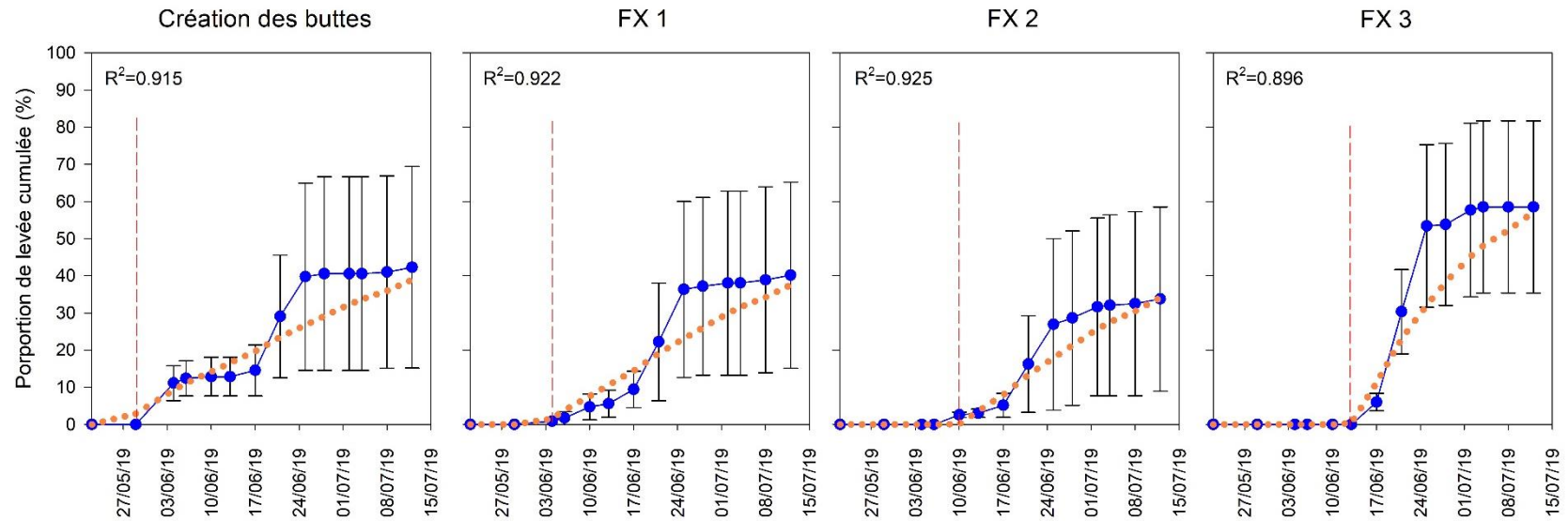
Figure 3.3.9. Levées observées et prédites de *Chenopodium album* sur planches de production de laitue en 2019 selon les interventions de travail de sol.



*Les barres d'erreurs représentent l'erreur type. La barre verticale rouge représente le moment où l'opération suivante a été effectuée. Les modèles utilisés pour générer les valeurs prédites lors de la création des buttes, du faux semis 1 (FX 1), faux semis 2 (FX 2) et faux semis 3 (FX3) correspondaient respectivement à ceux des traitements 5, 3, 3 et 4. Le choix de ces modèles était basé sur une meilleure correspondance avec les valeurs observées.



Figure 3.3.10. Levées observées et prédites de *Capsella Bursa-pastoris* sur planches de production de laitue en 2019 selon les interventions de travail de sol.



*Les barres d'erreurs représentent l'erreur type. La barre verticale rouge représente le moment où l'opération suivante a été effectuée. Les modèles utilisés pour générer les valeurs prédites lors de la création des buttes, du faux semis 1 (FX 1), faux semis 2 (FX 2) et faux semis 3 (FX3) correspondaient respectivement à ceux des traitements 5, 3, 3 et 6. Le choix de ces modèles était basé sur une meilleure correspondance avec les valeurs observées.

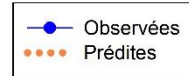


Figure 3.3.11. Levées observées et prédites de *Portulaca oleracea* sur planches de production de laitue en 2019 selon les interventions de travail de sol.

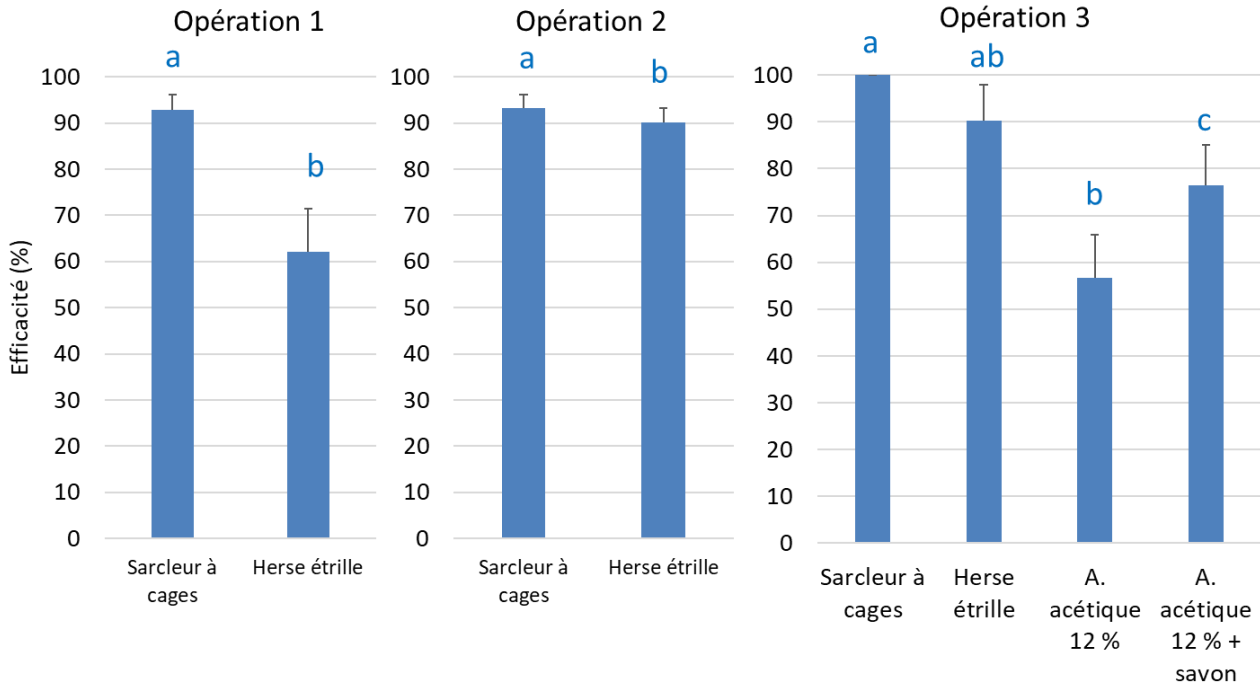
3.3.2. Opérations de faux semis

En 2018, l'efficacité de la herse étrille était plus faible que celle du sarcleur à cages lors des opérations du premier cycle de jeunes pousses (Figure 3.3.12). L'une des raisons qui pourraient expliquer cette faible efficacité est le manque d'uniformité des planches. Lors du passage de la herse, les dépressions dans les buttes n'ont pas permis aux dents de pénétrer assez dans le sol et ont ainsi limité le déracinement et l'enterrement des mauvaises herbes. Il y avait aussi des vents assez forts qui ont soulevé la terre et ainsi exposé des plantules enterrées par l'opération. L'efficacité des traitements herbicides était inférieure à celle des traitements de désherbage mécanique. Néanmoins, l'ajout de savon neutre a augmenté significativement l'efficacité du vinaigre blanc. Les différents traitements de cultures de couverture mis en place à l'automne 2017 n'ont pas influencé l'efficacité des traitements de faux semis (Tableau 3.3.1). De plus, l'outil sélectionné pour les opérations 1 et 2 n'influence pas l'efficacité des techniques utilisées pour l'opération 3.

Tableau 3.3.1. Analyse statistique de l'impact des facteurs à l'étude sur l'efficacité des interventions de faux semis dans le cycle de production de laitue frisée en 2018.

Intervention	Facteurs ¹	(P > F)
Opération 1	CC	0,468
	EQ	< 0,001
	CC*EQ	0,902
Opération 2	CC	0,510
	EQ	0,022
	CC*EQ	0,483
Opération 3	CC	0,759
	EQ	0,304
	EQ3	< 0,001

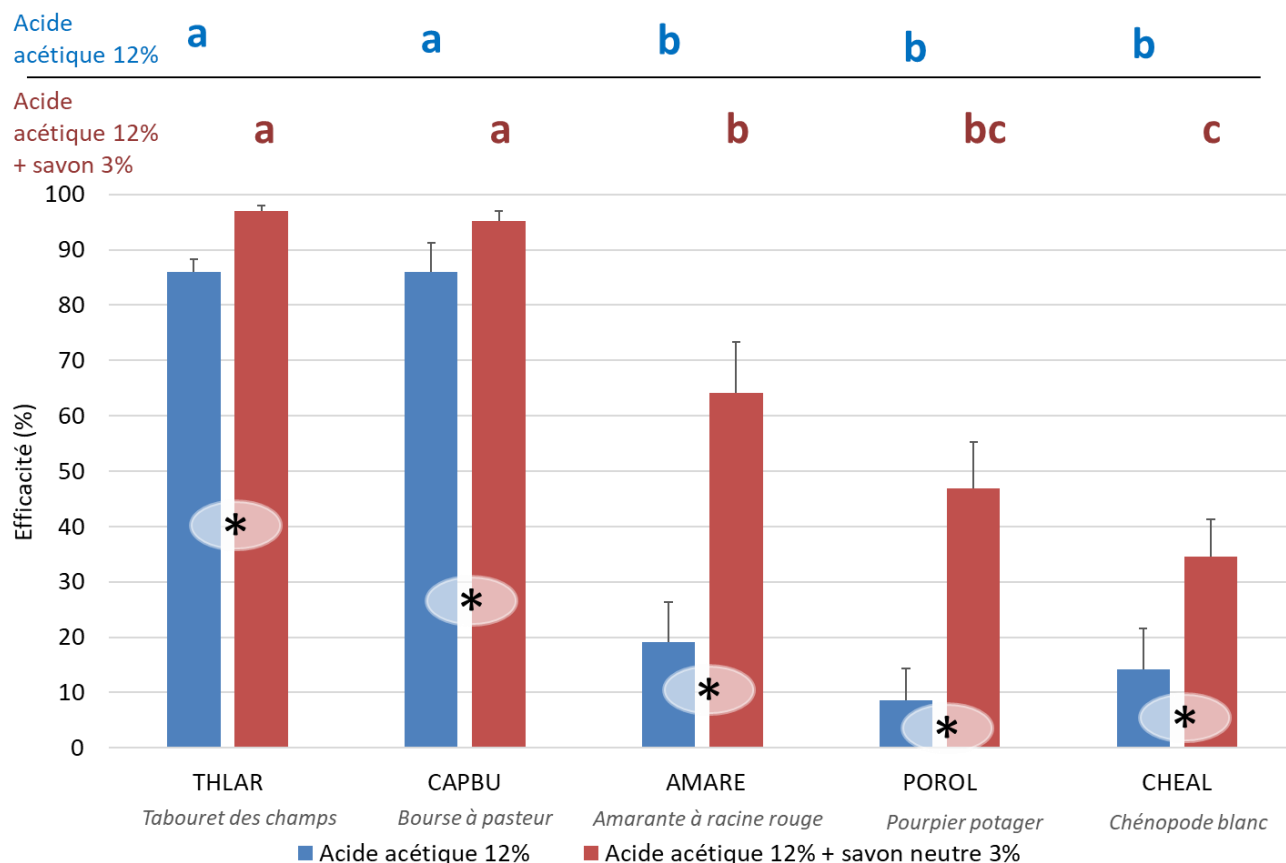
¹CC : cultures de couvertures; EQ : équipements utilisés pour effectués les faux-semis : herse étrille vs sarcleur à cages; EQ3 : équipements de la 3^e opération, herse étrille vs sarcleur à cage vs pulvérisateur en présemis (acide acétique vs acide acétique + savon).



*Analyse réalisée sur l'ensemble des espèces dicotylédones présentes. Les regroupements ayant la même lettre ne sont pas significativement différents ($P > 0,05$). Les barres d'erreurs représentent l'erreur type.

Figure 3.3.12. Efficacité des interventions de faux semis dans les jeunes pousses de laitue frisée en 2018.

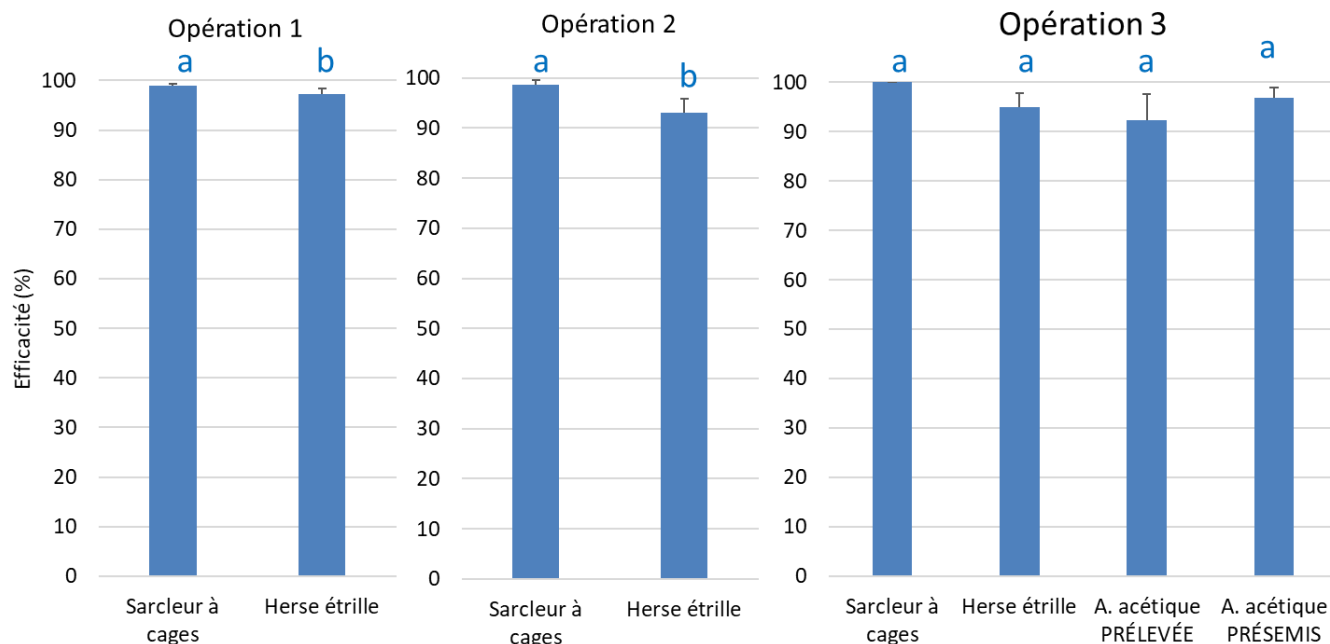
Les traitements herbicides n'ont pas eu la même efficacité sur les différentes espèces de mauvaises herbes présentes (Figure 3.3.13). Le tabouret des champs et la bourse-à-pasteur sont les espèces les plus sensibles aux traitements de vinaigre blanc, avec ou sans savon. L'ajout de savon neutre a significativement augmenté l'efficacité du traitement herbicide pour toutes les espèces et de façon plus importante, pour l'amarante à racine rouge et le pourpier potager.



Les regroupements ayant la même lettre ne sont pas significativement différents ($P > 0,05$). Les barres d'erreurs représentent l'erreur type. () indique une différence statistique pour chaque espèce entre les traitements avec ou sans de savon neutre au seuil de 5 %.

Figure 3.3.13. Sélectivité de l'herbicide vinaigre blanc (12 % acide acétique), avec ajout ou non de 3 % (v/v) de savon neutre.

Malgré une efficacité supérieure à 95 % pour les opérations 1 et 2 dans le 2^e cycle de production en 2018, la herse étrille a statistiquement moins bien performé que le sarcleur à cages (Figure 3.3.14). Contrairement au premier cycle de production, le traitement herbicide d'acide acétique contenant du savon neutre a aussi bien performé que les traitements de désherbage mécanique et ce, même si le traitement a été fait en présemis ou en prélevée de la roquette. Les traitements de cultures de couverture et les interventions des opérations 1 et 2 n'ont pas influencé l'efficacité des techniques utilisées lors de l'opération 3 (Tableau 3.3.2).



*Les regroupements ayant la même lettre ne sont pas significativement différents ($P > 0,05$). Les barres d'erreurs représentent l'erreur type.

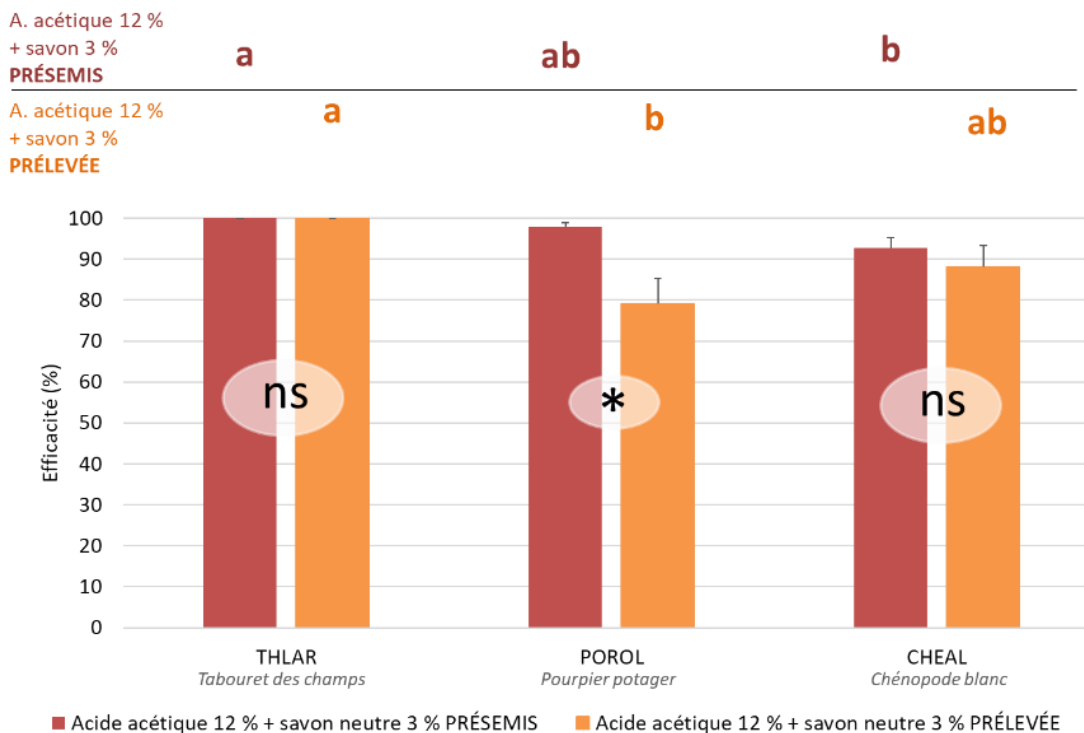
Figure 3.3.14. Efficacité des interventions de faux semis dans les jeunes pousses de roquette en 2018.

Tableau 3.3.2. Analyse statistique de l'impact des facteurs à l'étude sur l'efficacité des interventions de faux semis dans le cycle de production de roquette en 2018.

Intervention	Effet des facteurs ¹	(P > F)
Opération 1	EQ	0,042
Opération 2	EQ	0,007
Opération 3	CC	0,360
	EQ	0,065
	EQ3	0,951

¹ EQ : équipements utilisés pour effectués les faux-semis : herse étrille vs sarclueur à cages; CC : cultures de couverture; EQ3 : équipements de la 3^e opération, herse étrille vs sarclueur à cage vs pulvérisateur (acide acétique + savon en présemis vs acide acétique + savon en prélevée).

Lors de l'opération 3 du cycle en roquette, l'efficacité de l'acide acétique avec savon envers le pourpier potager et le chénopode blanc a été supérieure à celle observée au premier cycle (Figure 3.3.15). En effet, l'efficacité est passée de 46,9 à 97,8 % pour le pourpier potager et de 34,5 à 92,7 % pour le chénopode blanc. Le tabouret des champs demeure l'espèce la plus sensible au traitement. Le délai entre les applications a diminué l'efficacité de ce produit seulement pour le pourpier potager.



Les regroupements ayant la même lettre ne sont pas significativement différents ($P > 0,05$). Les barres d'erreurs représentent l'erreur type. () indique une différence statistique pour chaque espèce entre une pulvérisation en présemis ou en prélevée de la roquette au seul de 5 %.

Figure 3.3.15. Sélectivité de l'herbicide vinaigre blanc (12 % acide acétique) et savon neutre (3 %).

En 2019, la herse étrille a nettement mieux performé qu'en 2018. Sur six opérations de faux semis, le facteur « Équipements », où la performance de la herse étrille est comparée à celle du sarcleur à cages, a été significatif à une seule occasion (Tableau 3.3.3).

Tableau 3.3.3. Analyse statistique de l'impact des facteurs à l'étude sur l'efficacité des interventions de faux semis selon les dates d'interventions et les différentes espèces de mauvaises herbes en 2019.

Cycle	Faux semis	Effet des facteurs ²	Mauvaises herbes ¹					
			TOTAL (P>F)	CAPBU (P>F)	CHEAL (P>F)	POROL (P>F)	THLAR (P>F)	
1	1	CC	0,734	0,610	0,625	— ³	0,606	
		EQ	0,923	0,963	0,485	—	0,505	
		EQ*CC	0,242	0,614	0,433	—	0,859	
	2	CC	0,687	0,978	0,952	—	0,120	
		EQ	0,061	0,698	0,985	—	0,176	
		EQ*CC	0,719	0,953	0,768	—	0,885	
	3	CC	0,267	—	0,132	—	0,754	
		EQ	0,901	—	0,084	—	0,187	
		IR	0,880	—	0,953	—	0,642	
		EQ*CC	0,035	—	0,398	—	0,718	
		EQ*IR	0,972	—	0,790	—	0,405	
		EQ*IR*CC	0,335	—	0,507	—	0,397	
	2	1	CC	0,507	—	0,298	0,57	0,287
			EQ	0,004	—	0,021	0,096	<0,001
			EQ*CC	0,192	—	0,325	0,208	0,136
2		CC	0,744	—	0,194	—	—	
		EQ	0,917	—	0,789	—	—	
		IR	0,409	—	0,433	—	—	
		EQ*CC	0,303	—	0,908	—	—	
		EQ*IR	0,718	—	0,443	—	—	
		EQ*IR*CC	0,323	—	0,555	—	—	
3		CC	0,94	—	0,187	—	—	
		EQ	0,916	—	0,567	—	—	
		IR	0,675	—	0,713	—	—	
		EQ*CC	0,267	—	0,811	—	—	
		EQ*IR	0,464	—	0,488	—	—	
		EQ*IR*CC	0,613	—	1,000	—	—	

¹ CAPBU : *Capsella Bursa-pastoris*; CHEAL : *Chenopodium album*; POROL : *Portulaca oleracea* ; THLAR : *Thlaspi arvense*.

² CC : cultures de couverture; EQ : équipements pour effectuer le faux semis (herse étrille vs sarcler à cages); IR : irrigation.

³ — : absence de données ou données insuffisantes pour réaliser les analyses statistiques.

En effet, l'efficacité du sarcler à cages et de la herse étrille étaient similaires et généralement supérieures à 90 % en 2019 (comparaison des populations avant et après le passage de l'équipement). L'ajout du système d'ajustement automatique de la profondeur pourrait probablement expliquer ce contraste avec 2018. La seule intervention où la herse étrille a été moins efficace est celle du 29 juillet, la première intervention du cycle 2.

L'ajustement avait été changé pour tenter de travailler un peu plus superficiellement le sol. Conséquemment, le pourcentage de répression du chénopode blanc et du tabouret des champs a diminué d'environ 40 % (Tableau 3.3.4).

Tableau 3.3.4. Analyse statistique de l'efficacité des équipements utilisés pour réaliser les faux semis selon les dates d'interventions et les différentes espèces de mauvaises herbes en 2019.

Cycle	Faux semis	Équipements ²	Mauvaises herbes ¹				
			TOTAL % (SE) ³	CAPBU % (SE)	CHEAL % (SE)	POROL % (SE)	THLAR % (SE)
1	1	SC	92,49 (1,16)	91,75 (1,35)	88,66 (3,71)	100,00 (0,00)	77,90 (5,08)
		HE	92,32 (0,97)	90,64 (1,83)	84,02 (3,85)	100,00 (0,00)	72,60 (5,49)
	2	SC	90,83 (1,00)	92,75 (2,16)	93,17 (1,45)	100,00 (0,00)	82,47 (4,45)
		HE	93,41 (0,84)	93,60 (2,26)	93,66 (1,19)	100,00 (0,00)	90,42 (2,23)
	3	SC	95,01 (1,41)	100,00 (0,00)	95,98 (1,50)	95,24 (4,76)	92,60 (3,24)
		HE	94,39 (1,78)	100,00 (0,00)	98,10 (1,05)	100,00 (0,00)	77,41 (7,88)
2	1	SC	93,14 (2,30) a	100,00 (0,00)	91,67 (5,76) a	99,48 (0,52)	86,41 (4,03) a
		HE	56,05 (6,99) b	100,00 (0,00)	54,45 (8,33) b	96,62 (1,49)	30,16 (7,87) b
	2	SC	97,31 (1,58)	— ⁴	98,61 (1,39)	100,00 (0,00)	99,12 (0,88)
		HE	98,41 (0,82)		98,70 (0,91)	99,23 (0,77)	95,34 (3,99)
	3	SC	92,74 (4,51)	—	87,04 (6,54)	100,00 (0,00)	99,21 (0,79)
		HE	94,74 (2,26)		96,43 (2,61)	100,00 (0,00)	87,78 (7,36)

¹ CAPBU : *Capsella Bursa-pastoris*; CHEAL : *Chenopodium album*; POROL : *Portulaca oleracea* ; THLAR: *Thlaspi arvense*. Les moyennes d'une même colonne pour la même opération de faux semis suivies d'aucune lettre ou d'une même lettre ne sont pas significativement différentes selon le test de Tukey-Kramer au seuil de P>0,05.

² SC : sarcler à cages; HE : herse étrille.

³ SE : erreur-type

⁴ — : absence de données pour réaliser les analyses statistiques.

L'influence des irrigations entre les interventions de faux semis a été mesurée à partir de la densité des plantules de mauvaises herbes présentes avant l'intervention suivant l'irrigation. L'irrigation a eu un impact significatif sur la levée de la bourse-à-pasteur le 10 juin, sur l'ensemble des espèces le 29 juillet (sauf la bourse-à-pasteur) et sur le chénopode blanc le 6 août (Tableau 3.3.5). En effet, l'absence d'irrigation a limité de façon importante la levée des mauvaises herbes le 29 juillet, mais une deuxième irrigation n'a pas permis à une grande proportion de plantules de lever (Tableau 3.3.6).

Tableau 3.3.5. Analyse statistique de l'impact des facteurs à l'étude sur la densité des mauvaises herbes présentes avant les opérations de faux semis selon les dates d'interventions et les différentes espèces dominantes en 2019.

Date	Effet des facteurs ²	Mauvaises herbes ¹					
		TOTAL (P>F)	AMARE (P>F)	CAPBU (P>F)	CHEAL (P>F)	POROL (P>F)	THLAR (P>F)
10-juin	CC	0,847	0,822	0,154	0,953	0,900	0,779
	EQ	0,456	0,356	0,397	0,578	0,914	0,194
	IR	0,344	0,429	0,013	0,382	0,208	0,343
	EQ*CC	0,218	0,972	0,967	0,278	0,430	0,017
	EQ*IR	0,093	0,062	0,376	0,633	0,026	0,111
	EQ*IR*CC	0,912	0,493	0,648	0,387	0,413	0,809
29-juil	CC	0,669	— ³	0,578	0,600	0,779	0,956
	EQ	0,731	—	0,415	0,797	0,699	0,844
	IR	0,001	—	0,317	0,052	0,039	0,024
	EQ*CC	0,209	—	0,506	0,194	0,249	0,126
	EQ*IR	0,423	—	0,785	0,516	0,598	0,932
	EQ*IR*CC	0,687	—	0,523	0,349	0,789	0,387
06-août	CC	0,635	—	—	0,423	—	0,914
	EQ	0,703	—	—	0,920	—	0,169
	IR	0,082	—	—	0,049	—	0,251
	EQ*CC	0,765	—	—	0,949	—	0,178
	EQ*IR	0,126	—	—	0,031	—	0,367
	EQ*IR*CC	0,561	—	—	0,127	—	0,560

¹ CAPBU : *Capsella Bursa-pastoris*; CHEAL : *Chenopodium album*; POROL : *Portulaca oleracea* ; THLAR : *Thlaspi arvense*.

² CC : cultures de couverture; EQ : équipements pour effectuer le faux semis (herse étrille vs sarcler à cages); IR : irrigation.

³ — : absence de données ou données insuffisantes pour réaliser les analyses statistiques.

Tableau 3.3.6. Densité des mauvaises herbes présentes avant les opérations de faux semis selon les dates d'interventions et les différentes espèces dominantes.

Date	Irrigation	Mauvaises herbes ¹					
		TOTAL nb/m ² (SE) ²	AMARE nb/m ² (SE)	CAPBU nb/m ² (SE)	CHEAL nb/m ² (SE)	POROL nb/m ² (SE)	THLAR nb/m ² (SE)
10 juin	0X	144,44 (18,72)	3,33 (1,40)	1,67 (0,90) b	101,67 (14,19)	2,22 (1,73)	30,56 (7,34)
	1X	167,78 (20,87)	1,67 (1,21)	10,56 (2,35) a	102,78 (14,39)	5,56 (2,02)	43,33 (8,82)
	2X	147,78 (17,24)	2,78 (1,09)	7,22 (2,26) ab	88,33 (11,47)	5,00 (2,32)	41,67 (8,49)
29 juillet	0X	113,33 (18,40) b	0,56 (0,56)	15,00 (3,45)	18,33 (5,00) b	50,00 (19,01) b	26,11 (6,27) b
	1X	198,33 (31,94) a	0,00 (0,00)	17,78 (2,63)	35,00 (3,98) a	96,67 (32,92) a	36,11 (5,84) a
	2X	187,22 (23,72) a	0,56 (0,56)	23,33 (5,30)	28,33 (4,3) ab	85,00 (27,76) ab	43,89 (8,64) a
6 août	0X	40,00 (6,72)	0,56 (0,56)	0,00 (0,00)	18,89 (4,11) ab	1,67 (0,90)	18,89 (4,64)
	1X	42,22 (8,62)	1,11 (0,76)	0,00 (0,00)	21,67 (5,84) a	3,33 (1,81)	16,11 (4,51)
	2X	21,67 (6,12)	0,56 (0,56)	0,00 (0,00)	9,44 (1,89) b	0,00 (0,00)	11,67 (5,56)

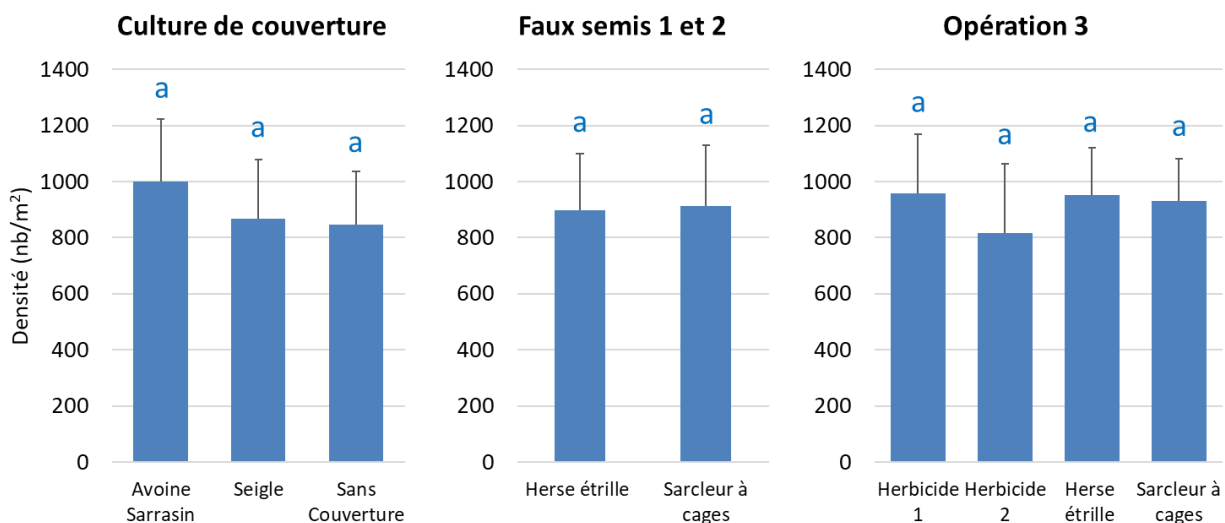
¹ AMARE : *Amaranthus retroflexus*; CAPBU : *Capsella Bursa-pastoris*; CHEAL : *Chenopodium album*; POROL : *Portulaca oleracea*; THLAR : *Thlaspi arvense*.

² SE : erreur-type

Les moyennes d'une même colonne pour la même opération de faux semis suivies d'aucune lettre ou d'une même lettre ne sont pas significativement différentes selon le test de Tukey-Kramer au seuil de P>0,05.

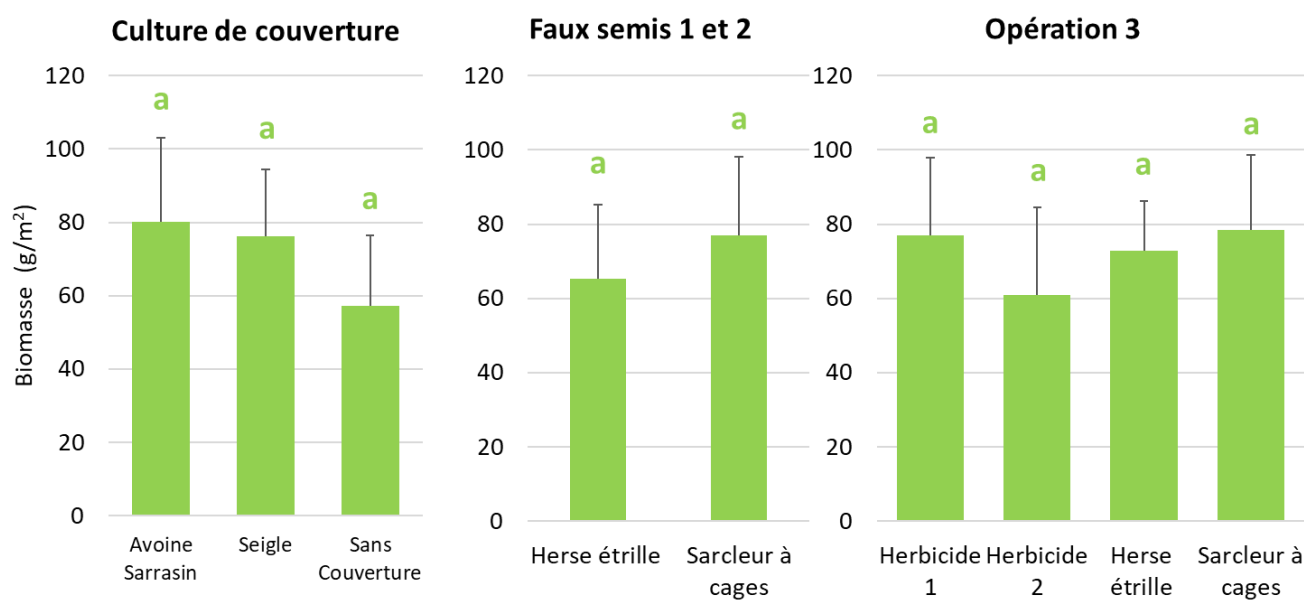
3.3.3. Population de mauvaises herbes dans les cultures

En 2018, les espèces de mauvaises herbes présentes à la récolte en septembre étaient le la bourse-à-pasteur, le pourpier potager, le tabouret des champs et le chénopode blanc. L'analyse statistique n'a relevé aucun effet significatif des traitements mis en place (Figures 3.3.16 et 3.3.17). Ceci concorde avec les analyses précédentes sur l'efficacité des traitements de faux semis. Les cultures de couverture et les opérations 1 et 2 de faux semis n'avaient pas influencé l'efficacité des traitements à l'opération 3. De plus, il n'y avait pas de différence entre les traitements de désherbage mécanique et chimique.



*Les regroupements ayant la même lettre ne sont pas significativement différents ($P > 0,05$). Les barres d'erreurs représentent l'erreur type. Herbicide 1 : 12 % acide acétique + 3 % (v/v) savon neutre en PRÉSEMIS; herbicide 2 : 12 % acide acétique + 3 % (v/v) savon neutre en PRÉLEVÉE.

Figure 3.3.16. Densité de l'ensemble des mauvaises herbes dans les jeunes pousses de roquette à la récolte en 2018, en fonction des différents facteurs à l'étude.



*Les regroupements ayant la même lettre ne sont pas significativement différents ($P > 0,05$). Les barres d'erreurs représentent l'erreur type. Herbicide 1 : 12 % acide acétique + 3 % (v/v) savon neutre en PRÉSEMIS; herbicide 2 : 12 % acide acétique + 3 % (v/v) savon neutre en PRÉLEVÉE.

Figure 3.3.17. Densité de l'ensemble des mauvaises herbes dans les jeunes pousses de roquette la récolte en 2018, en fonction des différents facteurs à l'étude.

En 2019, les différents équipements utilisés pour réaliser les faux semis ont influencé les populations de mauvaises herbes présentes aux récoltes de la laitue et de la roquette (Figure 3.3.18 à 3.3.21). En effet, une plus faible densité a été observée dans les parcelles où la herse étrille a été utilisée. La biomasse des mauvaises herbes suit aussi cette tendance dans le cycle de roquette. La densité est plus faible de 22,7 et 23,5 % comparée au sarclueur à cages.

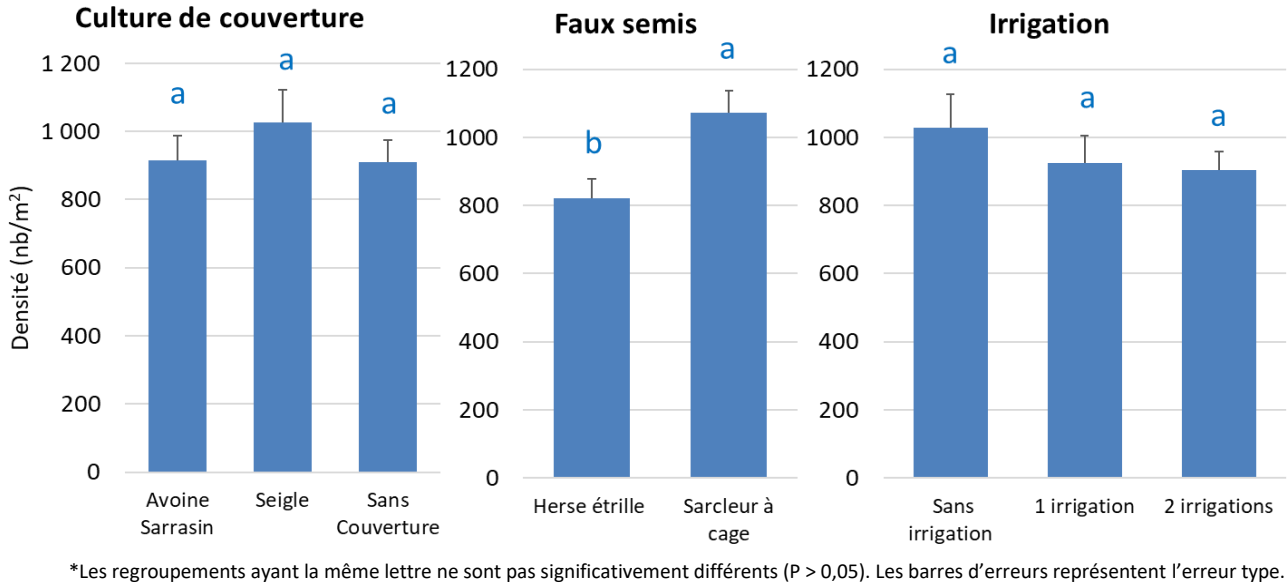


Figure 3.3.18. Densité de l'ensemble des mauvaises herbes dans les jeunes pousses de laitue à la récolte en 2019 en fonction des différents facteurs à l'étude.

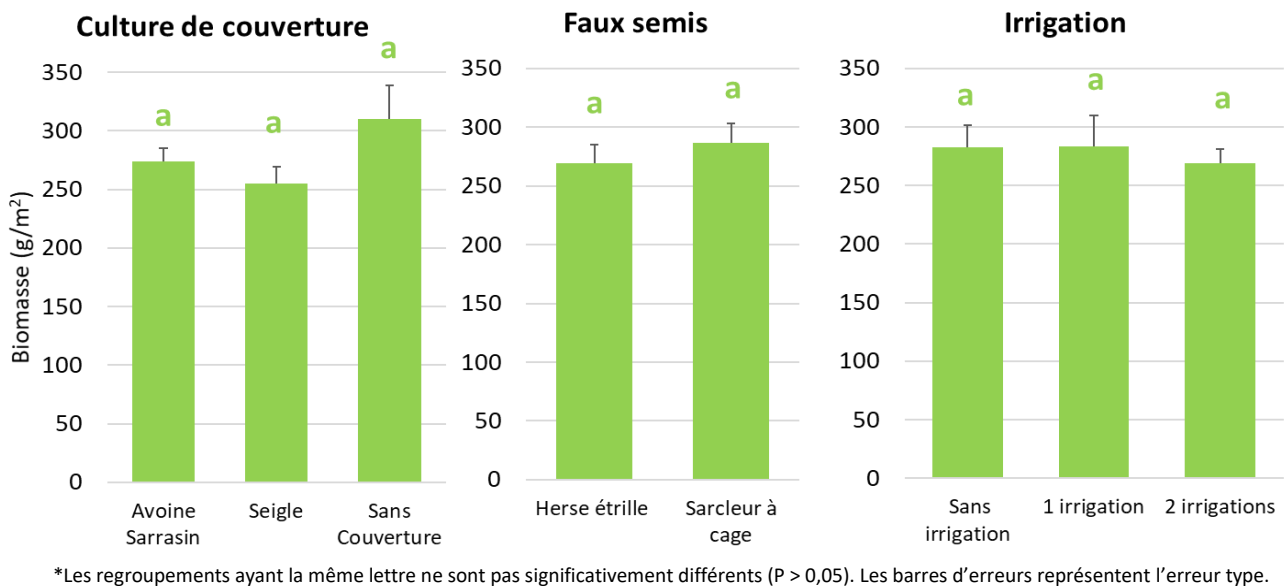
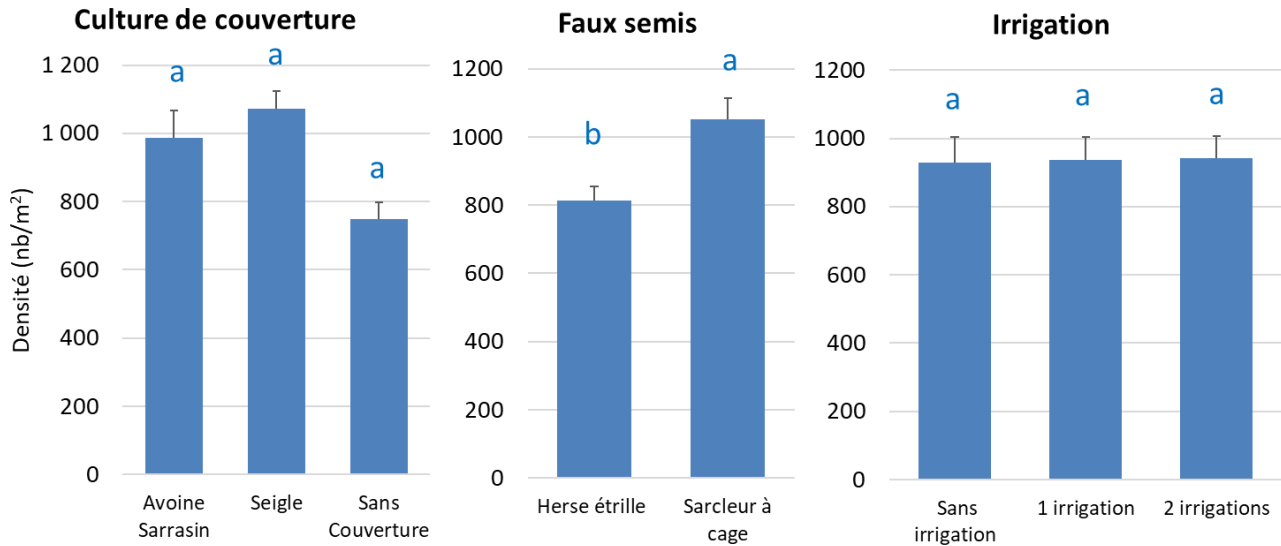
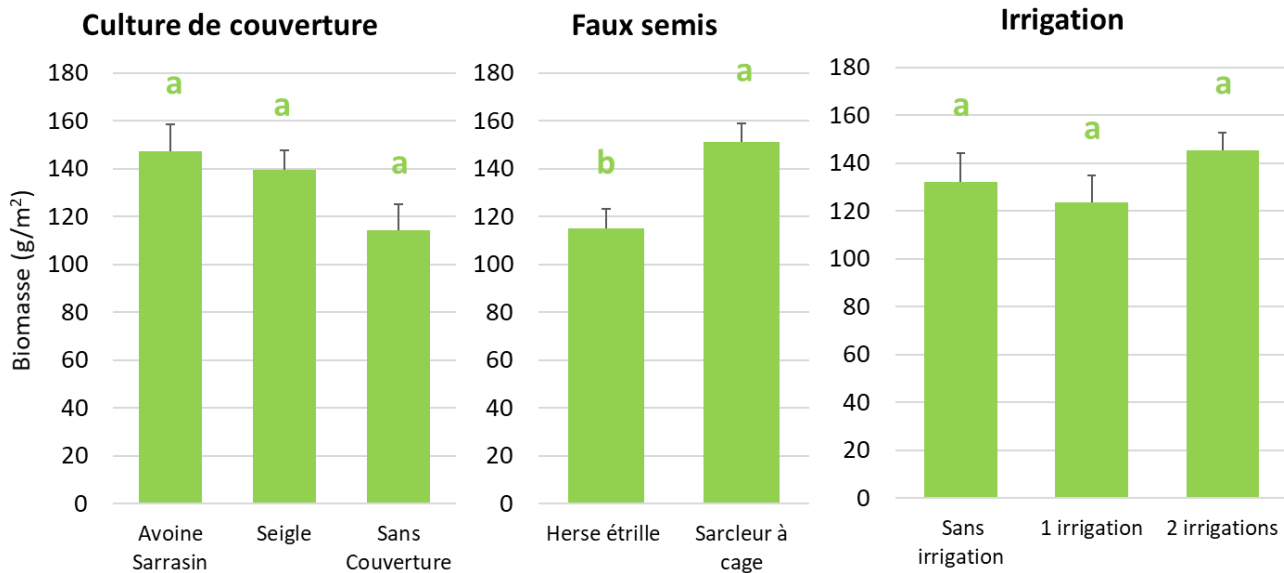


Figure 3.3.19. Biomasse de l'ensemble des mauvaises herbes dans les jeunes pousses de laitue à la récolte en 2019 en fonction des différents facteurs à l'étude.



*Les regroupements ayant la même lettre ne sont pas significativement différents ($P > 0,05$). Les barres d'erreurs représentent l'erreur

Figure 3.3.20. Densité de l'ensemble des mauvaises herbes dans les jeunes pousses de roquette à la récolte en 2019 en fonction des différents facteurs à l'étude.



*Les regroupements ayant la même lettre ne sont pas significativement différents ($P > 0,05$). Les barres d'erreurs représentent l'erreur

Figure 3.3.21. Biomasse de l'ensemble des mauvaises herbes dans les jeunes pousses de roquette à la récolte en 2019 en fonction des différents facteurs à l'étude.

3.4 RÉGIE DE L'IRRIGATION

Les résultats présentés dans cette section concernent la saison de croissance 2019 uniquement.

Les apports en eau aux différentes cultures sont présentés dans le Tableau 3.4.1.

Tableau 3.4.1. Apports d'eau aux cultures par le système d'irrigation et les précipitations, 2019.

Cultures	Nb d'épisodes d'irrigation	Hauteur d'eau totale par irrigation (mm)	Hauteur d'eau totale par précipitation (mm)	Hauteur d'eau totale (mm)
Laitue romaine rouge	7	41,7	58,7	100,4
Roquette	4	26,0	85,4	111,4

3.4.1 Consigne de déclenchement de l'irrigation (approche « Point tournant »)

Suite à un épisode de saturation en eau du sol et au ressuyage de celui-ci, l'évolution dans le temps de la tension sera habituellement linéaire. Cette relation ne sera plus linéaire lorsque les conditions hydriques du sol deviendront contraignantes pour la culture. La consigne de déclenchement d'un épisode d'irrigation peut être identifiée lorsque cette relation est observée et est décrite comme le « Point tournant » (PT) (Boivin et coll., 2018¹⁴).

La consigne de déclenchement des épisodes d'irrigation a fait l'objet d'une modification à la saison 2019. De la période du semis au déploiement complet des cotylédons, soit environ 7 à 10 jours après semis, la consigne était de -15 kPa. Une fois cette période passée, la valeur de -30 kPa était en vigueur. Étant donné le type de sol similaire entre les deux sites, il est normal de constater que la valeur du -30 kPa est également retrouvée par l'approche du PT en 2019, comme elle avait été observée en 2018 au site 1. Une représentation graphique du PT est présentée à la Figure 3.4.1.

¹⁴ Boivin, C. et coll. 2018. Gestion raisonnée de l'irrigation – Guide technique. Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec. 312 p.

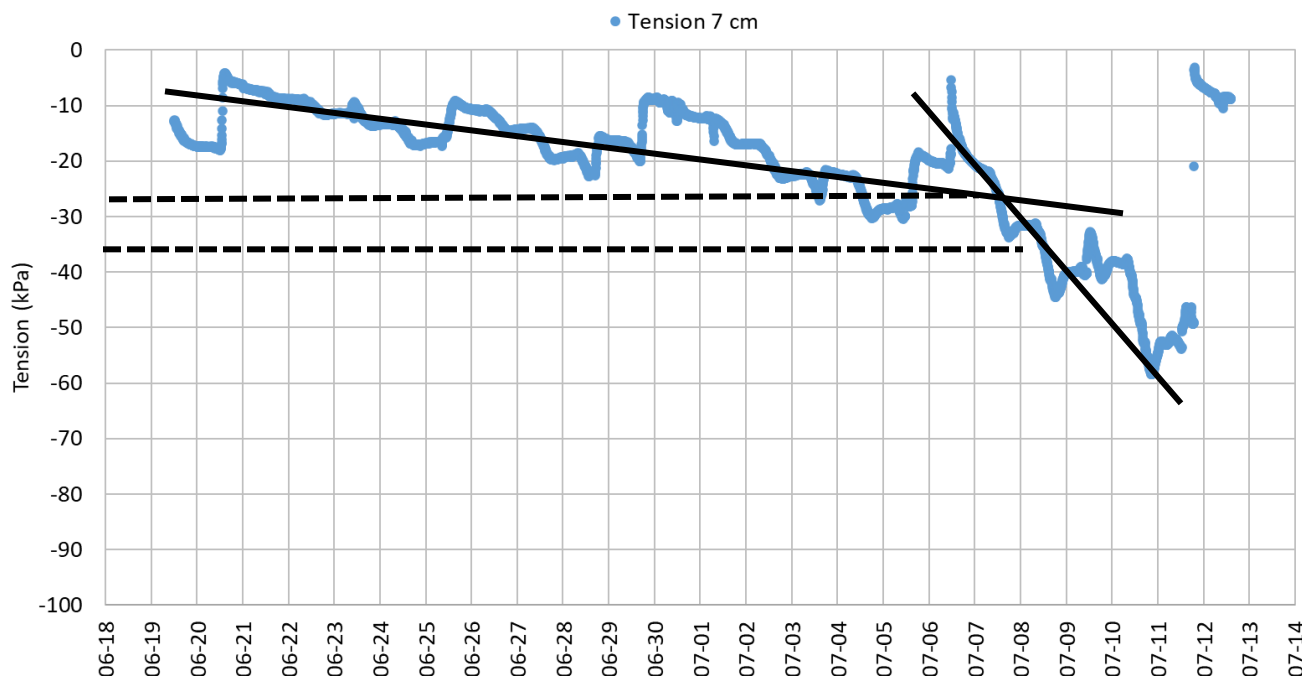


Figure 3.4.1. Détermination de la consigne de déclenchement de l'irrigation PT pour la laitue romaine rouge, 2019.

L'évapotranspiration en eau des cultures (ETc) peut être estimée en observant les différences de teneur en eau quotidiennes pour la profondeur de sol colonisée par le système racinaire (Boivin et coll., 2018). Cette information permet de connaître les quantités d'eau quotidiennes utilisées par la culture. Les sondes de teneur en eau permettent aussi de déterminer les proportions de ces prélèvements en eau à chacune des différentes profondeurs de sol propres à ces dernières. La distribution des proportions des prélèvements en eau du sol sur les 30 premiers cm de sol permet de situer la densité racinaire responsable de la majorité de la consommation en eau de la culture.

L'analyse des valeurs de teneur en eau permet d'estimer l'heure du début et de fin des prélèvements en eau par la culture ainsi que leurs quantités. Ainsi, les prélèvements sont observables de 10 h à 19 h pour la laitue romaine rouge (Figure 3.4.2) et de 10 h à 18 h pour la roquette (Figure 3.4.3). Cette analyse doit être effectuée en absence d'apports en eau par les précipitations et l'irrigation, ainsi qu'à des valeurs de tension n'ayant pas atteint la consigne PT.

Les prélèvements peuvent ensuite être mis en rapport avec les valeurs quotidiennes respectives d'évapotranspiration potentielle (ETp) afin de calculer des coefficients culturaux (Kc) propres à la culture et à son milieu de croissance. Ces informations permettent une gestion de l'irrigation avec l'approche hybride (tensiométrie et bilan hydrique) (Boivin et coll., 2018). Des valeurs de Kc ont pu ainsi être calculées pour quelques portions de la saison de croissance. Ces valeurs sont présentées en fonction de la période de développement de

la culture. Ainsi, trois valeurs de K_c , propres à trois périodes, sont proposées : initiale, mi-saison et finale. La durée de croissance des différentes jeunes pousses cultivées dans ce projet, du semis à la récolte, est d'environ 30 jours. La période « initiale », d'environ 10 jours, correspond à la période de germination jusqu'à ce que la majorité des cotylédons soient complètement déployés. La fin de cette période correspond également à la modification de la consigne d'irrigation (-15 à -30 kPa). Les périodes « mi-saison » et « finale » sont réparties uniformément en deux durées de 10 jours chacune. Il faut toutefois considérer que ces valeurs de K_c seront influencées par la texture et la composition du sol, la densité de la culture et la population de mauvaises herbes qui prélèvent également l'eau du sol. Ces valeurs sont présentées au Tableau 3.4.2. Ces valeurs ne font référence qu'à une saison de croissance et les plages de valeurs présentées font référence aux différents points de mesure pour ce site. La détermination de valeurs de K_c sur plusieurs saisons devrait donc être envisagée afin d'en augmenter la précision. Toutefois, ces dernières sont un bon point de départ pour quiconque souhaiterait utiliser une méthode de gestion de l'irrigation nécessitant un bilan hydrique.

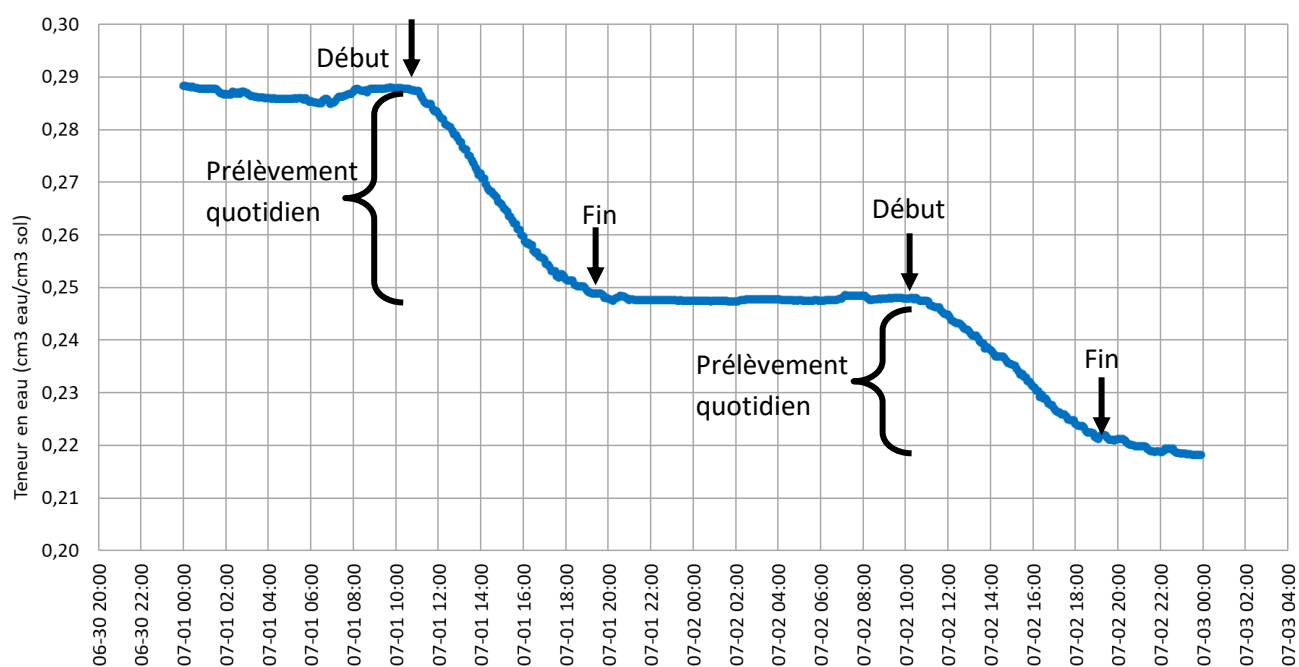


Figure 3.4.2. Détermination du prélèvement en eau de la culture avec la variation quotidienne de la teneur en eau du sol – Laitue romaine rouge, 2019.

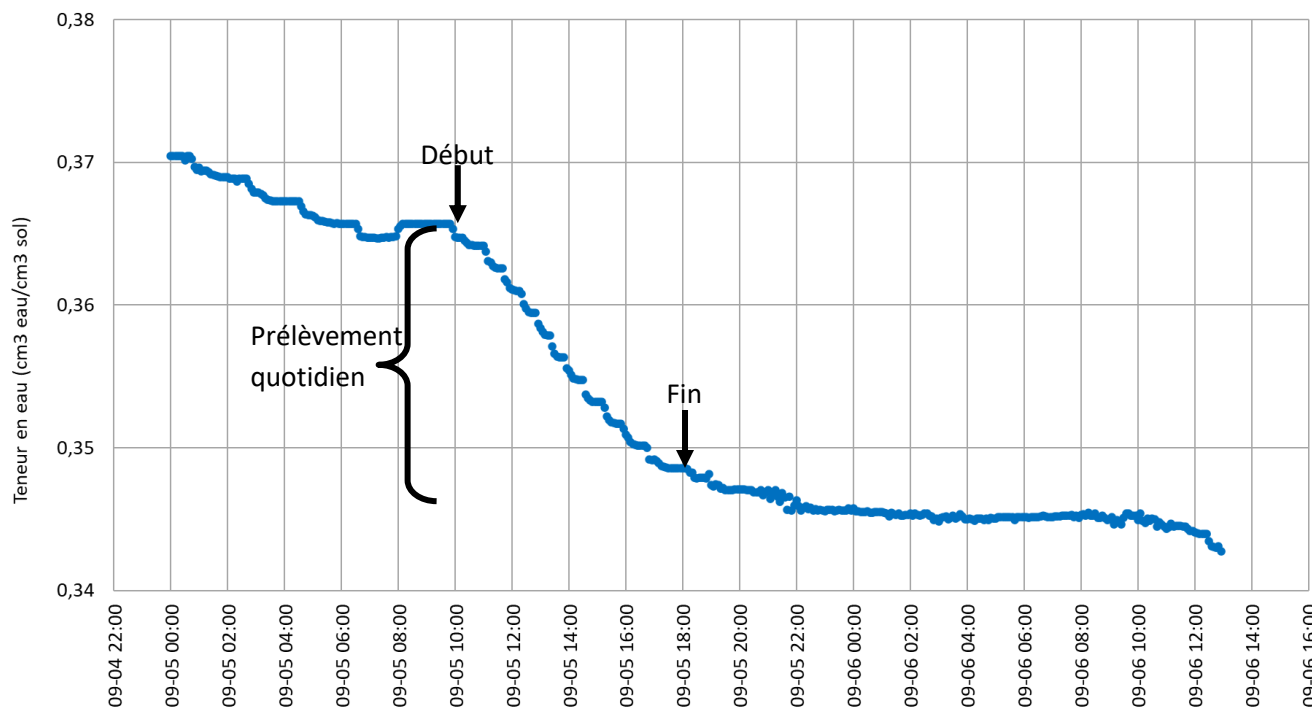


Figure 3.4.3. Détermination du prélèvement en eau de la culture avec la variation quotidienne de la teneur en eau du sol – Roquette, 2019.

Tableau 3.4.2. Coefficients culturaux (K_c), 2019.

Cultures	Kc		
	Initiale	Mi-saison	Finale
Laitue romaine rouge	0,29 – 0,44	0,33 – 0,40	0,53 – 0,60
Roquette	Non disponible	Non disponible	1,20 – 1,41

La proportion des prélèvements en eau de la culture peut être distribuée selon les différentes strates de sol instrumentées avec les sondes de teneur en eau. Il est donc possible de visualiser sur quelle profondeur la majorité des prélèvements est effectuée. Cette profondeur correspond à la localisation du système racinaire. Cette information, observée dans le temps, permet d’apprécier le développement racinaire de la culture et renseigne sur le positionnement optimal du tensiomètre tout au long de la saison. L’évolution des prélèvements en eau pour les cultures est présentée aux Figures 3.4.4 et 3.4.5. Les prélèvements se font majoritairement à l’intérieur des strates de sol supérieures (0-5 et 0-10 cm) pour la plus grande partie de la saison pour la roquette et pour l’ensemble de la saison avec la laitue romaine rouge. Les courbes de tendance démontrent que les prélèvements se déplacent en profondeur par la diminution de la proportion de prélèvement des strates 0-5 et 0-10 cm et par l’augmentation de celle des strates 0-20 et 0-30 cm. Par exemple à la Figure 3.4.5, à partir du 3 septembre, la proportion de prélèvement provenant de la strate de sol 0-20 cm rejoint celle de la strate 0-10 cm. Le nombre de jours après semis par rapport aux nombres de jours de culture où les prélèvements sont majoritairement observés dans les strates de sol supérieures est indiqué au Tableau 3.4.3. Ces observations amènent à suggérer que la profondeur du positionnement du tensiomètre ne devrait pas excéder les 10 cm afin d’assurer une gestion de

l'irrigation optimale pour près de 85 % de la période de culture pour la roquette. Cette profondeur pourrait être maintenue pour la laitue romaine rouge pendant toute la saison de croissance étant donné la prédominance des prélèvements dans les cinq premiers centimètres de sol pendant toute cette période. Effectivement, la Figure 3.4.4 présente des courbes où les proportions de prélèvement en eau de la strate de sol 0-5 cm demeurent prédominantes. Ces résultats n'ont été observés que sur une saison de croissance. Pour augmenter la robustesse de ces observations, ces mesures devraient être réalisées pour d'autres saisons.

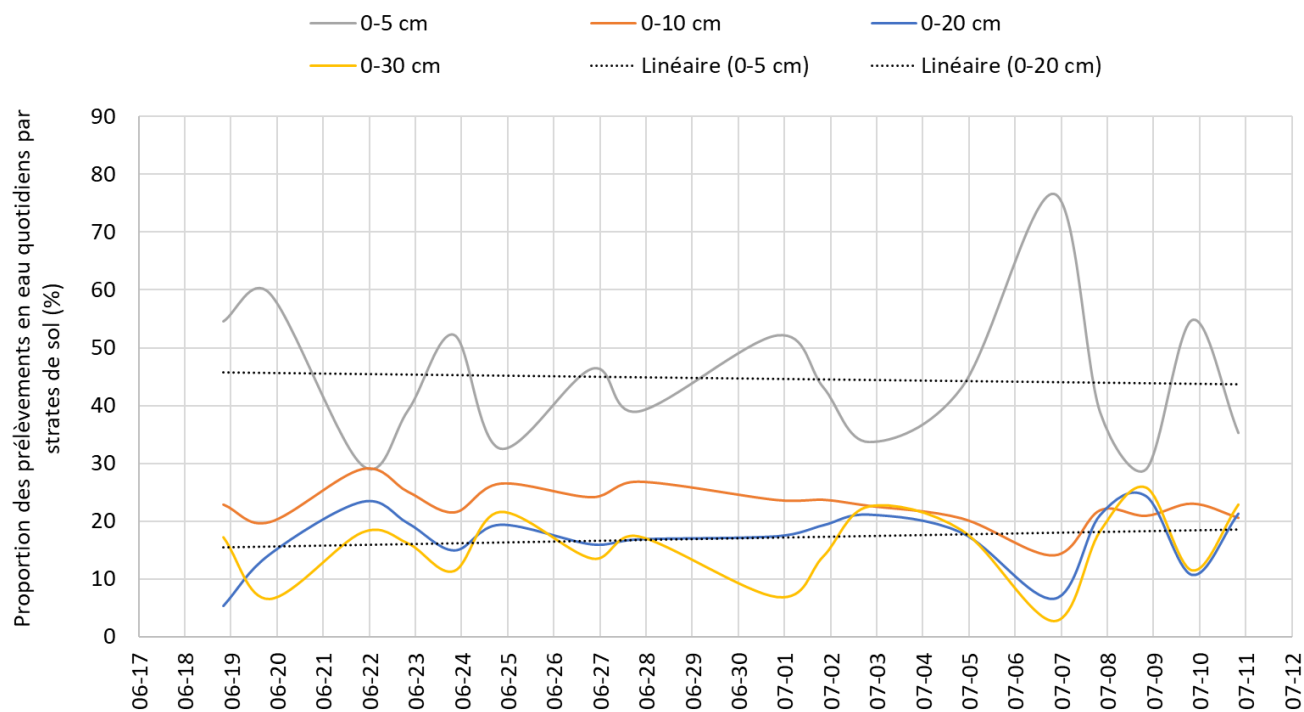


Figure 3.4.4. Proportion des prélèvements en eau quotidiens par strate de sol pour la culture de laitue romaine rouge, 2019.

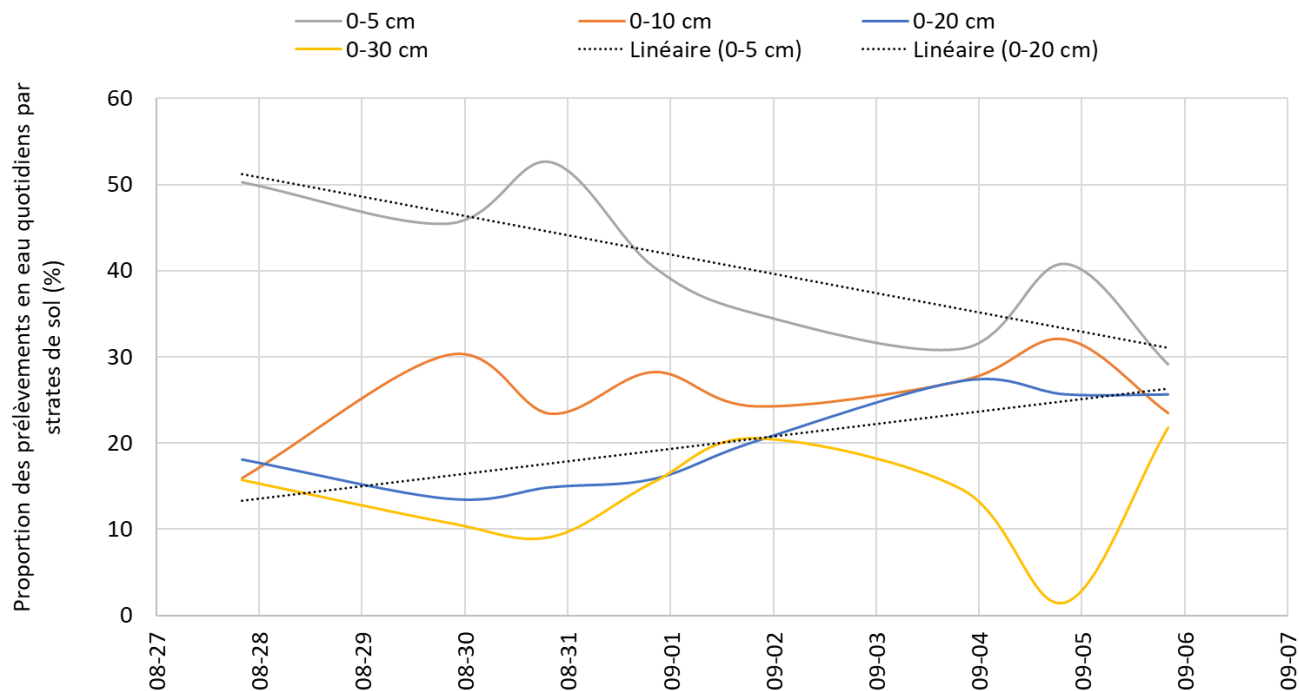


Figure 3.4.5. Proportion des prélèvements en eau quotidiens par strate de sol pour la culture de roquette, 2019.

Tableau 3.4.3. Périodes avec prédominance des prélèvements en eau situés dans les strates de sol supérieures (0-5 cm et 0-10 cm) par la culture, 2019.

Cultures	Période avec prédominance des prélèvements pour les strates de sol supérieures (nb jours)	Période totale de culture (nb jours)
Laitue romaine rouge	27	27
Roquette	23	27

ANNEXE A – OPÉRATIONS AU CHAMP EN 2018 ET 2019

Opérations	Dates	Détails
Préparation du sol	15 septembre 2017	Vibroculteur
Semis des cultures de couverture	15 septembre 2017	Seigle d'automne ou mélange avoine – sarrasin (2 :1) <ul style="list-style-type: none"> • 150 kg/ha
Incorporation des résidus de cultures de couverture	7 mai 2018	Herse à disques
Préparation des buttes	18 mai 2018	Butteuse
Épandage des fertilisants	18 mai 2018	Fumier de bovins composté <ul style="list-style-type: none"> • 23 T/ha Granules Acti-Sol® <ul style="list-style-type: none"> • 1,4 T/ha
Finition des buttes	18 mai 2018	Rotobutteuse
Faux semis 1	24 mai 2018	Sarcleur à cages et plaque lissante ou Herse étrille et plaque lissante
Faux semis 2	30 mai 2018	Répétition du traitement mécanique
Préparation du sol pour semis	11 juin 2018	Répétition du traitement mécanique ou Vinaigre 12 % seul ou Vinaigre 12 % + savon neutre
Semis de la laitue frisée rouge	12 juin 2018	Cultivar UNT 3SX1055
Irrigations	12, 22, 29 juin 2018 1 ^{er} , 3, 9 juillet 2018	
Destruction des parcelles	3 juillet 2018	
Travail du sol	9 et 16 juillet 2018	Vibroculteur
Préparation des buttes	23 juillet 2018	Butteuse
Épandage des fertilisants	23 juillet 2018	Granules Acti-Sol® <ul style="list-style-type: none"> • 830 kg/ha
Finition des buttes	23 juillet 2018	Rotobutteuse
Reprise du buttage (érosion hydrique)	30 juillet 2018	Rotobutteuse
Faux semis 1	6 août 2018	Sarcleur à cages et plaque lissante

		ou Herse étrille et plaque lissante
Faux semis 2	9 août 2018	Répétition du traitement mécanique
Préparation du sol pour semis	13 août 2018	Répétition du traitement mécanique ou Vinaigre 12 % + savon neutre
Semis de la roquette	14 août 2018	Cultivar Grazia
Irrigations	15, 16, 19, 21, 23 août 2018	
Traitement chimique pré-levée	16 août 2018	Vinaigre 12 % + savon neutre
Introduction de prédateurs naturels	23 et 30 août	<i>N. cucumeris</i> , <i>S. scimitus</i>
Traitements bioinsecticide	30 et 31 août 2018	Trounce ou Entrust (dans parcelles avec prédateurs naturels)
Désherbage	3-4-5 septembre 2018	
Introduction de prédateurs naturels	6 septembre 2018	<i>N. cucumeris</i> , <i>S. scimitus</i> et <i>D. coriaria</i>
Récolte	10 septembre 2018	
Destruction du haut des buttes	12 septembre 2018	Rotoculteur
Préparation du sol et Semis des cultures de couverture	13 septembre 2018	Seigle d'automne ou mélange avoine – sarrasin (2 :1) <ul style="list-style-type: none"> • 150 kg/ha

Opérations	Dates	Détails
Incorporation des résidus de cultures de couverture (seigle)	9 mai 2019	Herse à disques
Épandage des fertilisants	17 mai 2019	Fumier de bovins composté <ul style="list-style-type: none"> • 15 T/ha Granules Acti-Sol® <ul style="list-style-type: none"> • 1,56 T/ha
Incorporation des fertilisants	17 mai 2019	Vibroculteur
Préparation des buttes	22 mai 2019	Butteuse Rotobutteuse
Faux semis 1	29 mai 2019	Sarcler à cages et plaque lissante ou Herse étrille et plaque lissante

Faux semis 2	4 juin 2019	Répétition du traitement mécanique
Irrigation	6 juin 2019	Selon les parcelles
Préparation du sol pour semis	10 juin 2019	Répétition du traitement mécanique
Semis de la laitue romaine rouge	13 juin 2018	
Irrigations	13, 19, 23, 28 juin 2019 3, 5, 9 juillet 2019	
Désherbage manuel	5 et 8 juillet 2019	6 personnes X 9 h
Récoltes	10 juillet 2019	
Destruction du haut des buttes	10 juillet 2019	Rotoculteur
Préparation des buttes	23 juillet 2019	Butteuse
Épandage des fertilisants	23 juillet 2019	Granules Acti-Sol® • 950 kg/ha
Finition des buttes	23 juillet 2019	Rotobutteuse
Irrigation	26 juillet 2019	Selon les parcelles
Faux semis 1	29 juillet 2019	Sarcler à cages et plaque lissante ou Herse étrille et plaque lissante
Faux semis 2	1 ^{er} août 2019	Répétition du traitement mécanique
Irrigation	5 août 2019	Selon les parcelles
Faux semis 3	6 août 2019	Répétition du traitement mécanique
Semis de la roquette	9 août 2019	Cultivar Grazia
Irrigations	15, 16, 23, 27 août 2019	
Introduction de prédateurs naturels	15, 23, 29 août 2019	<i>N. cucumeris</i> , <i>S. scimitus</i> et <i>C. carnea</i>
Traitements bioinsecticides	22 et 27 août	Entrust (Bioinsecticides et prédateurs naturels; Bioinsecticides)
Désherbage manuel	21, 23 et 26 août 2019	6 personnes * 17 heures
Récolte	5 septembre 2019	
Destruction du haut des buttes	6 septembre 2019	Rotoculteur
Préparation du sol et Semis des cultures de couverture	9 septembre 2019	Seigle d'automne • 150 kg/ha

ANNEXE B – PARAMÈTRES DES COURBES DE LEVÉE MODÉLISÉES

Tableau Annexe B.1. Paramètres de chacune des courbes de levée modélisées pour les 2 ans d'expérimentation pour le *Chenopodium album*, *Portulaca Oleracea* et *Capsella Bursa-pastoris*.

Espèce	An	Nb de semaines désherbées	Date du travail de sol	HTT cumulé	Courbe	r ²	a	b	c	d	e
CHEAL	2018	0	-	0	Weibull	0,965	0,50 (0,09)	27,49 (0,99)	0,65 (0,02)	-	-
CHEAL	2018	1	09-mai	35,27	Weibull	0,713	11,80 (2,44)	55,54 (2,89)	1,00 (0,09)	-	-
CHEAL	2018	2	16-mai	47,83	Weibull	0,920	3,42 (3,46)	24,41 (1,16)	0,71 (0,07)	-	-
CHEAL	2018	3	23-mai	61,53	Weibull	0,945	5,31 (0,25)	19,33 (0,79)	0,56 (0,02)	-	-
CHEAL	2018	4	30-mai	75,60	Weibull	0,847	4,33 (2,16)	40,24 (2,44)	0,76 (0,06)	-	-
CHEAL	2018	5	08-juin	96,23	Weibull	0,915	2,50 (0,19)	24,50 (1,46)	0,72 (0,04)	-	-
CHEAL	2018	6	15-juin	110,14	Weibull	0,915	2,08 (1,60)	33,04 (1,46)	0,98 (0,07)	-	-
CHEAL	2018	7	22-juin	130,96	Weibull	0,868	2,50 (2,03)	34,20 (1,77)	0,99 (0,08)	-	-
CHEAL	2018	8	27-juin	143,80	Weibull	0,859	6,16 (2,94)	33,27 (1,75)	1,07 (0,13)	-	-
CHEAL	2018	9	04-juil	160,50	Weibull	0,821	12,93 (0,77)	27,65 (1,80)	1,00 (0,14)	-	-
CHEAL	2018	10	11-juil	169,28	Weibull	0,887	9,51 (1,05)	32,11 (1,84)	1,00 (0,10)	-	-
CHEAL	2018	11	18-juil	180,06	Weibull	0,967	5,46 (0,51)	15,63 (0,51)	1,09 (0,08)	-	-
CHEAL	2018	12	24-juil	191,50	Weibull	0,795	10,83 (12,82)	16,38 (5,08)	0,60 (0,35)	-	-
CHEAL	2018	13	31-juil	210,06	Weibull	0,484	9,00 (0,99)	18,78 (2,23)	1,00 (0,28)	-	-
CHEAL	2018	14	08-août	228,24	Weibull	0,792	13,16 (0,76)	25,14 (1,75)	1,00 (0,17)	-	-
CHEAL	2018	15	15-août	241,81	Weibull	0,914	4,87 (0,19)	15,91 (1,59)	0,90 (0,13)	-	-
CHEAL	2018	16	22-août	261,17	Weibull	0,948	9,67 (2,80)	26,71 (1,60)	1,11 (0,18)	-	-
CHEAL	2019	0	-	0	Weibull	0,960	5,13 (4,82)	33,77 (1,73)	0,77 (0,08)	-	-
CHEAL	2019	1	22-mai	76,81	Weibull	0,923	17,29 (0,95)	46,25 (1,41)	1,00 (0,06)	-	-
CHEAL	2019	2	29-mai	95,89	Weibull	0,880	4,57 (4,25)	30,83 (2,18)	0,61 (0,06)	-	-
CHEAL	2019	3	05-juin	109,38	Weibull	0,940	3,41 (0,33)	26,61 (1,23)	0,90 (0,05)	-	-
CHEAL	2019	4	12-juin	122,02	Weibull	0,859	3,36 (3,78)	16,55 (1,54)	0,62 (0,08)	-	-
CHEAL	2019	5	19-juin	134,35	Weibull	0,927	7,80 (1,73)	33,82 (1,55)	1,00 (0,08)	-	-
CHEAL	2019	6	26-juin	151,85	Weibull	0,797	7,22 (8,36)	12,04 (5,08)	0,44 (0,10)	-	-
CHEAL	2019	7	04-juil	171,81	Weibull	0,982	2,43 (1,38)	35,60 (1,07)	1,05 (0,05)	-	-

Tableau Annexe B.1. (Suite)

Espèce	An	Nb de semaines désherbées	Date du travail de sol	HTT cumulé	Courbe	r ²	a	b	c	d	e
POROL	2018	0	-	0	Weibull+logistique	0,961	34,83 (3,72)	0,01 (0,00)	141,61 (1,42)	9,12 (1,28)	14,14 (2,96)
POROL	2018	1	09-mai	22,63	Weibull+logistique	0,975	53,80 (3,37)	0,01 (0,00)	135,65 (1,68)	11,36 (1,70)	12,55 (1,62)
POROL	2018	2	16-mai	30,75	Weibull+logistique	0,984	61,04 (1,78)	0,02 (0,00)	116,44 (0,95)	5,10 (0,85)	6,10 (1,19)
POROL	2018	3	23-mai	40,37	Weibull+logistique	0,949	70,34 (2,94)	0,02 (0,00)	104,39 (1,98)	5,18 (1,68)	0,00 (1,97)
POROL	2018	4	30-mai	50,62	Weibull+logistique	0,974	61,97 (6,11)	0,03 (0,01)	112,38 (3,07)	13,70 (2,79)	8,51 (0,82)
POROL	2018	5	08-juin	65,41	Weibull+logistique	0,953	76,61 (4,66)	0,03 (0,00)	88,64 (2,24)	5,08 (2,60)	4,34 (0,94)
POROL	2018	6	15-juin	75,16	Weibull+logistique	0,967	57,93 (5,12)	0,06 (0,01)	75,20 (2,64)	10,09 (1,76)	3,04 (0,67)
POROL	2018	7	22-juin	90,99	Weibull+logistique	0,964	65,52 (3,20)	0,02 (0,00)	58,51 (1,27)	3,08 (1,03)	3,52 (1,44)
POROL	2018	8	27-juin	100,28	Weibull+logistique	0,951	53,98 (4,52)	0,02 (0,00)	48,38 (1,22)	1,77 (0,84)	3,87 (3,32)
POROL	2018	9	04-juil	115,55	Weibull+logistique	0,985	4,64 (14,73)	0,07 (0,18)	30,50 (0,71)	4,57 (0,83)	8,29 (4,57)
POROL	2018	10	11-juil	121,88	Weibull	0,948	6,62 (1,70)	18,52 (0,72)	1,19 (0,18)	-	-
POROL	2018	11	18-juil	129,46	Weibull	0,926	4,01 (0,48)	16,00 (0,89)	0,95 (0,08)	-	-
POROL	2018	12	24-juil	137,66	Weibull	0,918	8,44 (0,12)	11,00 (0,51)	0,48 (0,05)	-	-
POROL	2018	13	31-juil	152,11	Weibull	0,953	1,54 (1,50)	16,03 (0,69)	1,13 (0,13)	-	-
POROL	2018	14	08-août	165,79	Weibull	0,976	9,50 (2,20)	18,17 (0,49)	1,69 (0,52)	-	-
POROL	2018	15	15-août	175,74	Weibull	0,957	3,68 (7,53)	5,33 (5,04)	0,43 (0,18)	-	-
POROL	2018	16	22-août	190,11	Weibull	0,872	14,59 (0,35)	21,38 (1,57)	0,73 (0,13)	-	-
POROL	2019	0	-	0	Weibull+logistique	0,967	5,86 (22,64)	0,00 (0,01)	109,56 (4,82)	27,79 (5,47)	105,12 (487,91)
POROL	2019	1	22-mai	44,20	Weibull+logistique	0,962	53,12 (9,53)	0,02 (0,00)	127,03 (3,44)	16,52 (4,12)	11,91 (1,76)
POROL	2019	2	29-mai	57,97	Weibull+logistique	0,963	46,23 (13,54)	0,02 (0,01)	124,69 (4,26)	20,53 (5,29)	10,68 (1,94)
POROL	2019	3	05-juin	67,63	Weibull+logistique	0,939	36,92 (4,40)	0,22 (0,08)	95,80 (5,08)	24,74 (2,96)	17,06 (0,43)
POROL	2019	4	12-juin	76,86	Weibull+logistique	0,963	49,27 (7,31)	0,06 (0,01)	98,67 (9,74)	29,26 (4,04)	4,50 (0,80)
POROL	2019	5	19-juin	86,19	Weibull+logistique	0,935	58,93 (15,48)	0,03 (0,02)	99,64 (7,00)	14,70 (5,34)	5,67 (1,90)
POROL	2019	6	26-juin	99,69	Weibull+logistique	0,979	42,94 (10,29)	0,06 (0,02)	75,08 (5,78)	17,37 (2,38)	6,34 (0,92)
POROL	2019	7	04-juil	115,45	Weibull+logistique	0,942	86,94 (8,29)	0,03 (0,01)	113,72 (11,42)	12,81 (10,43)	9,12 (1,06)
POROL	2019	8	10-juil	125,10	Weibull	0,938	5,80 (1,10)	29,94 (1,14)	0,88 (0,05)	-	-
POROL	2019	9	17-juil	143,48	Weibull	0,959	3,90 (6,58)	24,85 (0,79)	2,26 (0,71)	-	-
CAPBU	2018	0	-	0	Weibull+logistique	0,898	35,88 (1,54)	0,09 (0,03)	202,78 (2,86)	23,13 (2,48)	0,54 (1,24)
CAPBU	2018	1	09-mai	35,27	Weibull+logistique	0,869	55,72 (7,46)	0,02 (0,01)	205,89 (7,50)	23,22 (6,42)	10,83 (3,01)
CAPBU	2018	2	16-mai	47,83	Weibull+logistique	0,911	78,47 (4,89)	0,01 (0,00)	183,77 (5,13)	12,14 (6,13)	0,00 (2,78)

Tableau Annexe B.1. (Suite)

Espèce	An	Nb de semaines désherbées	Date du travail de sol	HTT cumulé	Courbe	r ²	a	b	c	d	e
CAPBU	2018	3	23-mai	61,53	Weibull+logistique	0,942	71,80 (5,78)	0,01 (0,00)	137,79 (5,07)	14,30 (4,93)	0,00 (3,11)
CAPBU	2018	4	30-mai	75,61	Weibull+logistique	0,904	40,05 (4,03)	0,05 (0,01)	142,28 (3,67)	16,94 (3,39)	8,61 (2,04)
CAPBU	2018	5	08-juin	96,03	Weibull+logistique	0,907	72,02 (11,42)	0,02 (0,01)	153,98 (6,97)	15,49 (8,87)	7,49 (2,10)
CAPBU	2018	6	15-juin	109,94	Weibull+logistique	0,951	64,87 (3,22)	0,01 (0,00)	92,14 (1,72)	4,15 (1,60)	4,09 (3,35)
CAPBU	2018	7	22-juin	130,70	Weibull+logistique	0,930	3,00 (3,58)	0,25 (0,26)	84,69 (2,21)	15,75 (2,03)	12,09 (8,39)
CAPBU	2018	8	27-juin	143,53	Weibull+logistique	0,925	3,91 (7,65)	0,20 (0,43)	76,05 (4,44)	19,84 (3,13)	11,85 (6,52)
CAPBU	2018	9	04-juil	157,24	Weibull	0,873	25,98 (0,21)	37,93 (1,42)	0,74 (0,08)	-	-
CAPBU	2018	10	11-juil	164,17	Weibull	0,919	17,77 (0,81)	31,74 (1,04)	0,93 (0,09)	-	-
CAPBU	2018	11	18-juil	172,96	Weibull	0,874	10,95 (0,55)	24,09 (1,40)	0,81 (0,09)	-	-
CAPBU	2018	12	24-juil	183,61	Weibull	0,882	9,27 (0,35)	15,50 (0,95)	0,53 (0,05)	-	-
CAPBU	2018	13	31-juil	200,84	Weibull	0,847	18,55 (4,69)	29,04 (1,08)	0,81 (0,22)	-	-
CAPBU	2018	14	08-août	216,15	Weibull	0,942	18,46 (3,47)	28,82 (0,65)	0,92 (0,21)	-	-
CAPBU	2019	0	-	0	Weibull+logistique	0,784	52,98 (3,60)	0,02 (0,01)	278,94 (5,47)	13,23 (4,41)	8,78 (4,81)
CAPBU	2019	1	22-mai	76,81	Weibull+logistique	0,811	56,75 (6,47)	0,03 (0,01)	213,35 (11,21)	25,94 (7,78)	12,05 (3,12)
CAPBU	2019	2	29-mai	95,89	Weibull+logistique	0,938	45,10 (4,84)	0,03 (0,01)	184,94 (5,11)	22,67 (3,52)	6,79 (2,46)
CAPBU	2019	3	05-juin	109,38	Weibull+logistique	0,827	55,54 (4,27)	0,04 (0,01)	191,38 (9,72)	28,04 (6,92)	6,77 (1,63)
CAPBU	2019	4	12-juin	122,02	Weibull+logistique	0,852	56,72 (6,94)	0,07 (0,02)	139,17 (16,64)	38,14 (8,96)	3,46 (1,29)
CAPBU	2019	5	19-juin	134,35	Weibull+logistique	0,910	67,17 (10,23)	0,02 (0,00)	151,88 (6,34)	15,52 (7,33)	7,74 (3,19)
CAPBU	2019	6	26-juin	151,85	Weibull+logistique	0,908	60,51 (6,39)	0,01 (0,00)	127,61 (4,31)	8,34 (3,99)	18,42 (3,48)
CAPBU	2019	7	04-juil	171,07	Weibull+logistique	0,970	63,76 (11,04)	0,02 (0,01)	128,80 (5,31)	17,05 (6,00)	6,88 (1,36)
CAPBU	2019	8	10-juil	183,35	Weibull+logistique	0,871	34,04 (4,23)	0,11 (0,05)	127,76 (4,91)	20,13 (3,77)	8,54 (1,70)
CAPBU	2019	9	17-juil	205,71	Weibull	0,840	22,00 (4,77)	59,66 (3,25)	0,93 (0,12)	-	-
CAPBU	2019	10	24-juil	224,35	Weibull	0,918	19,18 (2,99)	49,55 (1,87)	1,17 (0,14)	-	-
CAPBU	2019	11	31-juil	243,60	Weibull	0,610	30,00 (2,50)	40,17 (1,99)	0,76 (0,19)	-	-
CHEAL	2018-2019	0			Weibull	0,892	5,13 (1,26)	50,29 (1,50)	1,00 (0,04)	-	-
CHEAL	2018-2019	1			Weibull	0,806	17,29 (0,86)	47,02 (1,47)	1,00 (0,06)	-	-

Tableau Annexe B.1. (Suite)

Espèce	An	Nb de semaines désherbées	Date du travail de sol	HTT cumulé	Courbe	r ²	a	b	c	d	e
CHEAL	2018-2019	2	-	-	Weibull	0,853	12,25 (0,28)	23,01 (0,86)	0,47 (0,02)	-	-
CHEAL	2018-2019	3	-	-	Weibull	0,943	3,41 (0,02)	21,77 (0,67)	0,67 (0,02)	-	-
CHEAL	2018-2019	4	-	-	Weibull	0,750	6,41 (1,72)	36,18 (1,73)	1,00 (0,08)	-	-
CHEAL	2018-2019	5	-	-	Weibull	0,898	2,51 (2,49)	23,90 (1,27)	0,72 (0,06)	-	-
CHEAL	2018-2019	6	-	-	Weibull	0,848	2,36 (0,22)	27,06 (1,43)	0,82 (0,04)	-	-
CHEAL	2018-2019	7	-	-	Weibull	0,903	2,46 (1,60)	34,45 (1,29)	1,00 (0,06)	-	-
POROL	2018-2019	0	-	-	Weibull+logistique	0,944	5,45 (24,58)	0,02 (0,05)	126,77 (4,88)	28,69 (5,08)	25,86 (30,61)
POROL	2018-2019	1	-	-	Weibull+logistique	0,961	54,53 (3,69)	0,02 (0,00)	133,90 (1,68)	12,32 (1,83)	11,96 (1,34)
POROL	2018-2019	2	-	-	Weibull+logistique	0,966	57,50 (3,08)	0,02 (0,00)	120,44 (1,59)	11,08 (1,59)	8,27 (1,27)
POROL	2018-2019	3	-	-	Weibull+logistique	0,951	52,52 (4,10)	0,04 (0,01)	113,59 (3,05)	15,88 (2,03)	5,31 (0,80)
POROL	2018-2019	4	-	-	Weibull+logistique	0,953	56,56 (5,08)	0,04 (0,01)	110,04 (4,69)	19,58 (2,65)	5,69 (0,69)
POROL	2018-2019	5	-	-	Weibull+logistique	0,932	69,15 (9,85)	0,03 (0,01)	95,55 (4,04)	12,03 (4,40)	5,04 (0,97)
POROL	2018-2019	6	-	-	Weibull+logistique	0,965	55,77 (7,82)	0,05 (0,01)	77,11 (3,92)	13,93 (2,17)	4,18 (0,66)
POROL	2018-2019	7	-	-	Weibull+logistique	0,943	75,95 (5,39)	0,02 (0,00)	58,22 (3,38)	7,40 (2,94)	4,44 (1,09)
POROL	2018-2019	8	-	-	Weibull	0,905	0,02 (4,85)	41,26 (1,15)	1,53 (0,19)	-	-

Tableau Annexe B.1. (Suite)

Espèce	An	Nb de semaines désherbées	Date du travail de sol	HTT cumulé	Courbe	r ²	a	b	c	d	e
POROL	2018-2019	9	-	-	Weibull	0,756	13,95 (0,33)	21,05 (0,68)	1,00 (0,11)	-	-
POROL	2018-2019	10	-	-	Weibull	0,793	8,92 (1,47)	20,81 (0,81)	1,00 (0,13)	-	-
POROL	2018-2019	11	-	-	Weibull	0,837	8,22 (1,53)	21,96 (0,88)	1,15 (0,15)	-	-
POROL	2018-2019	12	-	-	Weibull	0,859	8,3 (0,16)	11,55 (0,38)	0,55 (0,04)	-	-
POROL	2018-2019	13	-	-	Weibull	0,895	5,93 (0,50)	13,19 (0,60)	0,74 (0,06)	-	-
POROL	2018-2019	14	-	-	Weibull	0,887	9,50 (2,68)	17,24 (0,74)	1,02 (0,29)	-	-
CAPBU	2018-2019	0	-	-	Weibull+logistique	0,776	40,35 (3,24)	0,04 (0,01)	230,55 (6,71)	36,38 (5,09)	0,40 (3,21)
CAPBU	2018-2019	1	-	-	Weibull+logistique	0,855	57,09 (5,53)	0,02 (0,00)	209,47 (6,41)	23,83 (4,98)	10,89 (2,35)
CAPBU	2018-2019	2	-	-	Weibull+logistique	0,914	49,48 (3,24)	0,03 (0,01)	179,74 (4,48)	25,64 (3,17)	5,92 (1,51)
CAPBU	2018-2019	3	-	-	Weibull+logistique	0,845	47,22 (6,57)	0,04 (0,01)	151,28 (9,57)	30,69 (5,45)	5,20 (1,87)
CAPBU	2018-2019	4	-	-	Weibull+logistique	0,834	47,52 (3,66)	0,06 (0,01)	140,75 (5,00)	21,80 (3,90)	4,74 (1,44)
CAPBU	2018-2019	5	-	-	Weibull+logistique	0,905	69,85 (8,50)	0,02 (0,00)	153,89 (4,86)	15,90 (6,19)	7,94 (1,79)
CAPBU	2018-2019	6	-	-	Weibull+logistique	0,926	47,44 (9,81)	0,01 (0,00)	102,77 (4,43)	18,31 (4,43)	9,66 (3,25)
CAPBU	2018-2019	7	-	-	Weibull+logistique	0,944	0,65 (39,11)	0,01 (0,01)	75,11 (11,66)	29,11 (6,88)	217,72 (4439,15)
CAPBU	2018-2019	8	-	-	Weibull+logistique	0,901	3,50 (300,61)	0,02 (0,31)	72,53 (64,60)	31,12 (29,35)	63,37 (2097,89)
CAPBU	2018-2019	9	-	-	Weibull	0,757	23,36 (1,51)	48,37 (2,09)	0,84 (0,08)	-	-

Tableau Annexe B.1. (Suite)

Espèce	An	Nb de semaines désherbées	Date du travail de sol	HTT cumulé	Courbe	r ²	a	b	c	d	e
CAPBU	2018-2019	10	-	-	Weibull	0,835	17,66 (1,81)	39,62 (1,31)	1,04 (0,11)	-	-
CAPBU	2018-2019	11	-	-	Weibull	0,802	11,16 (1,28)	29,55 (1,39)	0,96 (0,10)	-	-
CAPBU	2018-2019	12	-	-	Weibull	0,702	8,39 (1,20)	19,81 (1,39)	0,63 (0,07)	-	-
CAPBU	2018-2019	13	-	-	Weibull	0,595	19,24 (1,61)	26,64 (1,25)	0,65 (0,10)	-	-

Pour les courbes Weibull, le paramètre a représente la valeur de HTT au début de la levée, b est la valeur de HTT à 50% de levée et c un paramètre de forme de la courbe. Pour les courbes en 2 phases Weibull et logistique, le paramètre a représenté le maximum de levée atteint au premier plateau, b est le taux de levée de la première phase, c le point d'infection où la deuxième phase commence, d représente le point d'équilibre du taux de levée où 100% est atteint et e représente la valeur de HTT au début de la levée.

CAPBU: *Capsella Bursa-pastoris*; CHEAL: *Chenopodium album*; POROL: *Portulaca oleracea*.

ANNEXE C – SUIVI DU CHAMP EN PHOTOS



Cultures de couverture (avoine-sarrasin en avant-plan et seigle à l'arrière) - 26 septembre 2017.



Reprise du seigle d'automne - 7 mai 2018.



Incorporation des résidus à la herse à disques - 10 mai 2018.



Levée de la roquette - 24 août 2018.



Récolte de la roquette - 10 septembre 2018.



Semis des cultures de couverture - 13 septembre 2018.



Système d'irrigation pour traiter selon les parcelles



Traitement d'irrigation selon les parcelles – 6 juin 2019.



Récolte de laitue romaine rouge – 10 juillet 2019



Roquette le jour de la récolte – 5 septembre 2019.

CONCLUSIONS GÉNÉRALES ET PERSPECTIVES

Site 1.

Dans le cadre de l'essai sur les fertilisants organiques, les cultures de couverture et les plantes attractives dans des cycles subséquents de laitue romaine et d'épinard, les résultats ont démontré un impact important du type de fertilisant sur les rendements des deux cultures. En effet, l'application de compost de fumier de bovin au printemps a généré des rendements de laitue romaine significativement plus élevés que l'ajout de granules Acti-sol® ou que le témoin et ce, pour les données amassées en 2019 et en combinant les deux ans de production. À l'inverse, les rendements en épinards mesurés en 2019 et pour les deux ans combinés étaient significativement plus élevés dans les parcelles où avaient été appliquées les granules Acti-sol® aux deux cycles de production. Ces tendances n'avaient pas été observées en analysant les données de 2018 seulement. La culture de couverture n'a pas eu d'effet sur les rendements de laitue et d'épinard. La présence de cultures de couverture ou le mode de fertilisation ont eu très peu d'impacts sur les populations de mauvaises herbes au cours de l'étude. Finalement, les essais ont suggéré un impact du compost sur l'incidence de la fonte des semis, bien que non significatif. De futurs essais permettraient de définir si cette tendance se confirme, et si elle est associée à la teneur en azote du sol ou à des composés chimiques ou microbiologiques des intrants.

Aussi, en combinant les essais sur les deux saisons, il est possible de conclure que plus la bande de plantes trappes est diversifiée, plus elle est attractive et ce, en comparant avec l'utilisation de l'amarante utilisée seule. En effet, les mélanges de plusieurs espèces ont tous eu une attractivité plus grande sur les altises que l'amarante seule, que ce soit moutarde-colza-amarante, moutarde-colza et le mélange de trois espèces ornementales. La présence de mauvaises herbes et le manque d'eau ont un effet important sur la germination des plantes attractives. Ainsi, il est important d'avoir une bonne gestion des mauvaises herbes et de l'irrigation pour pouvoir utiliser la méthode de lutte par les plantes attractives. Finalement, l'utilisation d'une bande de plantes attractives diversifiées avec des plantes hôtes de l'altise à tête rouge peut être une avenue dans la gestion de ce ravageur (méthode «*Attract*»). Toutefois, pour avoir des impacts positifs sur la culture des épinards, il serait intéressant d'utiliser la méthode «*Attract and Kill*». Ainsi, lorsque les altises à tête rouge se retrouvent dans les bandes attractives, il peut y avoir application d'un produit phytosanitaires pour tuer le ravageur et limiter sa mobilité dans les épinards.

Site 2.

L'essai sur le contrôle des ravageurs et des mauvaises herbes dans des cultures de laitue rouge et de roquette ont permis de conclure en l'efficacité similaire de la herse étrille et du sarcler à cages à détruire les mauvaises herbes durant les faux semis, ainsi que de l'impact de leur ajustement. En 2019, la densité des mauvaises herbes établie dans les cultures dans les parcelles désherbées avec la herse étrille était plus faible d'environ 23 %. Les résultats ont également démontré que l'irrigation était une opération importante permettant de stimuler la levée des mauvaises herbes pendant la période des faux semis. Cependant, dans cette étude, une seule irrigation a été aussi bénéfique que d'irriguer à deux reprises. De plus, les parcelles irriguées avaient une quantité similaire de mauvaises herbes à la récolte des cultures. Davantage de données sont cependant nécessaires afin de préciser

cette tendance, car elles sont grandement affectées notamment par la pluviométrie et la consigne d'irrigation choisie.

Les traitements de cultures de couverture, de sarclage mécanique et chimique, d'irrigation et de bioinsecticides n'ont pas eu d'impact significatif sur les rendements de laitue et de roquette.

Finalement, en combinant les deux saisons, l'utilisation d'une régie de bioinsecticides ou de bioinsecticides combinés à des prédateurs naturels n'a pas démontré d'effets statistiquement significatifs sur les dommages à la récolte de la laitue frisée rouge et de la roquette malgré certaines tendances. D'autres essais seraient à réaliser pour tester d'autres prédateurs naturels.

ANNEXE 1 – DESCRIPTION DES PRINCIPAUX RAVAGEURS ET DE LEURS PRÉDATEURS NATURELS

Ravageurs

Les **altises**, l'altise des crucifères (*Phyllotreta cruciferae*) et l'altise des navets (*Phyllotreta striolata*), sont des insectes phytophages qui se nourrissent principalement des cotylédons et des premières feuilles de la laitue, en formant des petits trous arrondis. L'altise des crucifères est la plus petite et se démarque par une bande jaune longitudinale et sinueuse sur chaque élytre sur son dos noir (IRIIS Phytoprotection, 2018a). L'altise des navets est noire avec un reflet bleuté ou verdâtre (IRIIS Phytoprotection, 2018b). Les altises ne produisent qu'une seule génération pendant la saison estivale. Généralement, les adultes hivernent et réapparaissent lorsque les températures se réchauffent. Les femelles pondent leurs œufs dans le sol qui éclosent cinq jours plus tard (IRIIS Phytoprotection, 2018a). La nouvelle génération d'adultes émerge en juillet et en août avant leur hibernation pour le printemps suivant (IRIIS Phytoprotection, 2018b).

Dans les productions de légumes-feuilles, on rencontre deux espèces de **thrips** : le thrips de l'oignon (*Thrips tabaci*) et le thrips des petits fruits (*Frankliniella occidentalis*). Les femelles peuvent se reproduire par parthénogenèse, ce qui fait qu'on rencontre principalement des femelles et très peu de mâles (Leblanc, 2002). Les adultes et les larves sont les plus problématiques, car ils se nourrissent des feuilles en formant des stries beige. Les thrips sont aussi des vecteurs de maladies. Ils peuvent transmettre l'INSV (*Impatiens Necrotic Sport Virus*) et le TSWV (*Tomato Spotted Wild Virus*) (Thériault et Ouellet, 2012). Les thrips apparaissent à partir de mai jusqu'à la fin de septembre et peuvent produire de trois à quatre générations. Les adultes survivent à l'hiver dans les champs de vivaces hôtes (Leblanc, 2002).

Les **pucerons** dont le puceron de la laitue (*Nasonovia ribisnigri*), le puceron de la pomme de terre (*Macrosiphum euphorbiae*) et le puceron vert du pêcher (*Myzus persicae*) sont des ravageurs potentiels. *Nasonovia ribisnigri* est le puceron le plus présent (Prisme, 2015). Il peut être sous forme ailé et est de couleur vert olive, mais peut aussi aller du vert clair au rose (Chaput, 2000) avec des rayures noires sur le dos (Prisme, 2015). Seulement l'œuf du puceron hiverne (Chaput, 2000). Le puceron s'attaque seulement à la laitue en colonisant le cœur (Ramadan, 2018). *Macrosiphum euphorbiae*, est le deuxième plus commun (Prisme, 2015). Aptère ou pas, il est le plus gros puceron et se caractérise par une forme allongée de couleur verdâtre. On le retrouve principalement à la surface inférieure du cœur de la laitue (Ramadan, 2018). *Myzus persicae* est le puceron le moins problématique (Prisme, 2015). Aptère ou pas, il se distingue par ses cornicules sur la partie postérieure de l'abdomen. Sa forme ressemble à celle d'une poire. Lorsqu'il possède des ailes, celui-ci a des taches foncées sur la tête, l'abdomen et le thorax. Le ravageur hiverne sous l'état d'œuf pendant l'hiver (Chaput, 2000). Il se nourrit principalement des feuilles externes et basales de la laitue (Ramadan, 2018).

La **punaie terne** *Lygus lineolaris* est un ravageur prédominant dans la production de laitues (Prisme, 2018). L'insecte peut produire 3 générations par année et hiverne au stade adulte. La larve change de coloration durant son développement en passant du vert éclatant au vert plus foncé. Elle se retrouve habituellement dans le cœur et sur les feuilles médianes de la laitue (Prisme, 2015). L'adulte est de couleur verdâtre ou brunâtre avec un triangle crème sur le dos (IRIIS Phytoprotection, 2018). La punaise se déplace rapidement, elle donc est difficile à dépister. Les symptômes de la pique de la punaise ressemblent à une carence en calcium (Gauthier et Ouellet, 2004) pour ensuite former des lésions brunâtres et de la nécrose (Prisme, 2015).

La **mouche du chou** *Delia radicum* est un ravageur important des crucifères, car ses larves s'attaquent aux tiges, aux racines et au feuillage. L'insecte cause des dommages importants principalement au printemps (IRIIS Phytoprotection, 2018c). Les pupes émergent durant le mois de mai. Ce ravageur peut produire 2 à 3 générations

par année. L'éclosion de la deuxième génération peut ralentir, car les conditions climatiques chaudes et sèches de l'été agissent sur leur développement (Prisme, 2018). La larve est de couleur blanc-beige avec des crochets buccaux noirs visibles au niveau de la tête (IRIIS Phytoprotection, 2018c).

La **mouche des semis** *Delia platura* est une autre mouche affectant les cultures de crucifères et la laitue. Le comportement est similaire à celle de la mouche du chou. Les tubercules de la larve n'ont pas d'encoche en leur centre comparativement à la mouche du chou. La mouche peut produire de deux à quatre générations par année. Les pupes sortent de l'hivernation au printemps (IRIIS Phytoprotection, 2018d). Ce sont les larves qui causent des dommages en se nourrissant de plusieurs parties de la plante: le feuillage, les cotylédons, les racines et les graines en germination (Légaré et Moisan-De Serres, 2015).

La chenille de la **fausse-arpenteuse du chou** *Trichoplusia ni* est phytophage et se nourrit du revers des feuilles. Elle peut manger jusqu'à 65 cm² de tissus foliaires durant sa croissance. Elle mesure 4 cm à maturité. La chenille est verte pâle et possède «3 paires de lignes blanches ondulées sur le dos et 1 ligne latérale jaune pâle ou blanche (Thériault et Ouellet, 2010). Ce qui la distingue est son déplacement en forme de « boucles » (Gagnon et Lefebvre, 2017). L'adulte migre vers le sud en hiver et revient en juillet ou en août pour pondre ses œufs. Deux générations par année sont possibles (Chaput, 1999).

La **piéride du chou** *Pieris rapae* est une chenille au mouvement lent pouvant atteindre une longueur de 3 cm à maturité, deux semaines après l'éclosion des œufs. Il y a une mince bande jaune sur le milieu de son dos et une autre segmentée sur ses côtés (Gagnon et Lefebvre, 2017). Les pupes hivernent dans les champs et les adultes apparaissent durant le mois de mai. Il peut y avoir environ 3 générations par année. Les larves se nourrissent principalement des tissus inférieurs de la feuille mais, lorsqu'elles sont plus grosses, elles peuvent causer des trous irréguliers (Chaput, 1999).

La **fausse-teigne des crucifères** *Plutella xylostella* est la plus petite des chenilles ravageuses dans la laitue et les crucifères (Gagnon et Lefebvre, 2017), car elle n'atteint que 8 mm à maturité. Elle a la particularité de se tortiller rapidement et de se laisser tomber d'une feuille avec un fil de soie lorsqu'elle est dérangée. La chenille se nourrit des deux surfaces des feuilles. Les adultes migrent vers le sud et reviennent en mai et en juin pour pondre leurs œufs (Chaput, 1999).

La **cécidomyie du chou-fleur** *Contarinia nasturtii* est un diptère s'attaquant aux crucifères. Ce sont les larves qui causent des dommages aux plants en se nourrissant des tissus végétaux. Le dépistage se fait à l'aide d'un piège à phéromone et en dépistant les mâles reconnus pour leurs antennes avec 24 nodules distancés et poilus. Les dommages sont des renflements des points de croissance, le pétiole des feuilles incurvé, le limbe boursoufflé et le feuillage chiffonné. La pupa hiverne et l'adulte émerge au printemps (Gagnon et Lefebvre, 2017).

Prédateurs naturels

Les informations suivantes, si elles ne sont pas citées, proviennent de renseignements trouvés sur les pages d'informations des différents fournisseurs de prédateurs naturels : Anatis Bioprotection, Koppert biological systems et Plant Product, sous-fournisseur de BioBest et Beneficial Insectary ou sont des observations faites durant le projet.

La **chrysope verte** *Chrysoperla carnea* est un prédateur se nourrissant de petits insectes principalement à corps mou (œuf, pucerons, etc.). Son cycle vital se déroule de 4 semaines à 3 mois selon la température. Son stade larvaire dure 15 à 20 jours, soit le temps approximatif de la production des jeunes pousses. Par contre, son prix est très dispendieux, ce qui compromettrait la rentabilité de la production.

Le **nématode** parasitaire *Sternernema feltiae* peut être utilisé pour contrôler les thrips et autres insectes dont l'altise et les mouches. Le nombre de thrips retrouvés sur les pièges collants en serre est passé de 120 à 25 après seulement une application du nématode. Cette espèce de nématode a la particularité de se déplacer directement sur sa proie lorsqu'elle passe (Lambert, 2005). Il peut survivre dans le sol pendant 2 à 4 semaines et peut aussi se conserver pendant 2 à 6 mois au réfrigérateur (2-5°C). Il a l'avantage de mieux tolérer les insecticides avec forte toxicité.

L'**acarien terricole** *Gaeolaelaps gillesspiei* est un prédateur naturel intéressant dans la lutte contre les thrips. Il se nourrit des larves et des pupes au sol et a diminué leur population de 30% (Murphy, 2014). Le coût à l'hectare est aussi intéressant pour un producteur.

L'**acarien terricole** *Stratiolaelaps scimitus* se nourrit non seulement des thrips, mais aussi des mouches du terreau. Il pourrait donc avoir un impact sur les diptères ravageurs. Cet acarien pourrait réduire de 30% la population de thrips au cours de la saison en se nourrissant des larves et des pupes (Anatis Bioprotection, comm. Person., 2018).

L'**acarien** *Amblyseius swirskii* est un acarien couramment employé dans la lutte aux thrips. Il se nourrit principalement des larves de premier stade et parfois de deuxième stade. Cet acarien nécessite plusieurs semaines, avec des introductions à intervalle, avant de réduire les populations de thrips. Lorsque les populations de thrips sont faibles, il est préférable de fournir une source de nourriture alternative comme le pollen (Murphy, 2014).

L'**acarien** *Neoseiulus cucumeris* est souvent employé dans la lutte biologique. Cet acarien s'alimente des thrips sur le feuillage. L'avantage de *N. cucumeris* est qu'il est mieux adapté au climat québécois, car il préfère une température plus basse qu'*A. swirskii* pour son développement (Murphy, 2014). Son coût est généralement bas.

La **punaïse** *Orius insidiosus* est un prédateur très vorace pour les thrips et peut s'attaquer à tous ses stades. Elle se nourrit aussi de pollen qui favorise son développement et sa longévité. Son cycle de vie se déroule sur 3 semaines (Murphy, 2014). Elle peut aussi se nourrir de pucerons (Anatis Bioprotection, com.person.2018). Cependant, *O. insidiosus* est très mobile. Il peut donc être difficile de l'implanter dans une culture au champ particulièrement à proximité de bandes florales. Son coût est moyennement élevé comparativement à d'autres prédateurs naturels.

Le **coléoptère** *Dalotia coriaria* appartient à la famille des *Staphylinidae* pouvant mesurer de 3 à 4 cm de longueur à maturité. L'adulte et la larve sont très agressifs et se déplacent rapidement sur le sol afin de trouver les petits invertébrés dont ils se nourrissent. L'insecte s'attaque aux pucerons et aux mouches du terreau. Cet insecte possède des ailes, mais il ne semble pas être très mobile. Son prix semble aussi raisonnable.

Une revue de littérature a été réalisée pour recenser les papiers scientifiques démontrant l'effet de l'utilisation de prédateurs naturels dans plusieurs cultures. Le résumé de ces articles se trouve en annexe et comprend la citation pour retrouver chacun des articles scientifiques.

RÉFÉRENCES

- BUNN et al., 2015. Flea Beetles on Vegetables (Coleoptera: Chrysomelidae), Utah State University Extension. <https://utahpests.usu.edu/uppd/files-ou/factsheet/flea-beetles.pdf> (consulté le 20 mai 2018)
- CHAPUT, 1999. Chenilles ravageuses des crucifères cultivées. Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires Rurales de l'Ontario. <http://www.omafra.gov.on.ca/french/crops/facts/99-036.htm> (consulté le 9 juin 2018)
- CHAPUT, 2000. Pucerons de la laitue et du céleri en Ontario. Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires Rurales. <http://www.omafra.gov.on.ca/french/crops/facts/00-054.htm> (consulté le 8 juin 2018).
- DE HALLEUX, D. 2016 Notes de cours d'introduction au génie rural (GAE-1900), Département des sols et de génie agroalimentaire, Université Laval

- DESJARDINS, 2017. Notes de cours d'Horticulture (PLG-32Gérald d01), Département de phytologie, Faculté des sciences de l'agriculture et de l'alimentation, Université Laval
- DUVAL, 2013. Stratégies gagnantes dans la lutte contre certains insectes ravageurs des cultures maraichères biologiques. CETAB. https://www.cetab.org/system/files/-publications/strategies_gagnantes_phytoprotection_-_j_duval_-_8_fevrier_2013.pdf (consulté le 8 juin 2018)
- FORTIN, 2017. Notes de cours de Pesticides en environnement (SLS-3302), Département des sols et de génie agroalimentaire, Université Laval
- FORTIN et OUELLET, 2004. Réseau d'Avertissement Phytosanitaire – Avertissement No 1 – Crucifères. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec. <https://www.agrireseau.net/Rap/documents/-a01cru04.pdf> (consulté le 8 juin 2018)
- GAUTHIER et OUELLET, 2005. Réseau d'Avertissement Phytosanitaire – Avertissement No 06 - Carotte, céleri, laitue, oignon, poireau. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec. <https://www.agrireseau.net/Rap/documents/a06tn05.pdf> (consulté le 8 juin 2018)
- GAUTHIER et OUELLET, 2004. Réseau d'Avertissement Phytosanitaire – Avertissement No 02 - Carotte, céleri, laitue, oignon, poireau. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec. <https://www.agrireseau.net/Rap/documents/a02tn04.pdf> (consulté le 8 juin 2018)
- IRIIS Phytoprotection. 2018a. Altise des crucifères. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec. <https://www.iriisphytoprotection.qc.ca/-Fiche/Insecte?imageId=5665> (consulté le 20 mai 2018)
- IRIIS Phytoprotection. 2018b. Altise des navets. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec. <https://www.iriisphytoprotection.qc.ca/-Fiche/Insecte?imageId=3951> (consulté le 20 mai 2018)
- IRIIS Phytoprotection. 2018c. Mouche du chou. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec. <https://www.iriisphytoprotection.qc.ca/Fiche/Insecte?-imageId=4386> (consulté le 20 mai 2018)
- IRIIS Phytoprotection. 2018d. Mouche des semis. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec. <https://www.iriisphytoprotection.qc.ca/Fiche/Insecte?-imageId=7684> (consulté le 20 mai 2018)
- LAMBERT et PARRIS, 2005. Des nématodes forts utiles en lutte biologique. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec. <https://www.agrireseau.net/horticultureserre/documents/NÉMATODES%20bénéf...août2005%20LL.pdf> (consulté le 25 mai 2018)
- LAPLANTE et LEBLANC, 2017. Réseau d'Avertissement Phytosanitaire – Bulletin d'information No 2 – Laitue et chicorée. Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation du Québec. https://www.agrireseau.net/documents/-Document_95801.pdf (consulté le 25 mai 2018)
- LAUDERDALE, 2017. Red-headed Flea Beetle Biology and Management. Industry Research- Nursery and Greenhouse of NC Cooperative Extension. <https://www.ces.ncsu.edu/wp.../2017-Nursery-Landscape-Notes-RHFB-Article.pdf> (consulté le 8 juin 2018)
- LEBLANC, 2002. Le thrips de l'oignon : un insecte difficile à réprimer. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec. <https://www.agrireseau.net/legumeschamp/documents/thrips%20.PDF> (consulté le 20 mai 2018)
- LEFEBVRE et al., 2017. Réseau d'Avertissement Phytosanitaire – Fiche technique Crucifères-Mouche du chou. <https://www.agrireseau.net/documents/95122/cruciferes-fiche-technique-mouche-du-chou>
- LEFEBVRE et GAGNON, 2017. Réseau d'Avertissement Phytosanitaire – Avertissement Crucifères, No,2. <https://www.agrireseau.net/documents/95272/cruciferes-avertissement-no-2-25-mai-2017>
- LÉGARÉ et MOISAN-DE SERRE, 2015. La mouche des semis (*Delia platura*). Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec. https://www.agrireseau.net/documents/Document_90443.pdf (consulté le 11 juin 2018)
- MIRANPURI et KHACHATOURIANS, 1995. Entomopathogenicity of *Beauveria bassiana* toward flea beetles, *Phyllotreta cruciferae* Goeze (Col., Chrysomelidae), *Journal of Applied Entomology*, 119:2, 167-170
- MURPHY, 2014. Lutte contre les thrips dans les cultures de serre. Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires Rurales de l'Ontario. <http://www.omafra.gov.on.ca/french/crops/facts/14-002.htm> (consulté le 27 juin 2018)
- PRISME. 2015. Petit guide laitue. Consortium PRISME, Sherrington, Qc, Canada
- PRISME. 2018. Laitue : Fiche technique. Consortium PRISME. <https://prisme.ca/documentation/laitue/> (consulté le 9 juin 2018)
- RAMADAN, 2018. Pucerons de la laitue en serre : Fiche technique de synthèse. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec. https://www.agrireseau.net/documents/Document_97519.pdf (consulté le 9 juin 2018)
- MARCOUX et LEGAULT. 2018. Réseau d'Avertissement Phytosanitaire – Bulletin d'information No 1 - Général. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec. <https://www.agrireseau.net/rap/documents/97826> (consulté le 30 mai 2018)
- THÉRIAULT et TREMBLAY, 2012. Réseau d'Avertissement Phytosanitaire – Avertissement No 14 – Cultures en serre. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec. <https://www.agrireseau.net/Rap/docu-ments/a14cs12.pdf> (consulté le 20 mai 2018)
- THÉRIAULT, L. et OUELLET, C. 2010. Réseau d'Avertissement Phytosanitaire – Avertissement No 08 – Crucifères. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec. <https://www.agrireseau.net/Rap/documents/-a08cru10.pdf> (consulté le 9 juin 2018)
- ROY, M., BOUCHARD, J. et GAUTHIER, K. nd. Laboratoire de diagnostic en phytoprotection- Fiche technique sur les altises du canola. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec.

ANNEXE 2 – REVUE DE LITTÉRATURE SUR LES PRÉDATEURS NATURELS

ABAD-MOYANO, R., PINA, T., PÉREZ-PANADÉS, J., CARBONELL, E. A. et URBANEJA, A. 2010. Efficacy of *Neoseiulus californicus* and *Phytoseiulus persimilis* in suppression of *Tetranychus urticae* in young clementine plants, *Experimental and Applied Acarology*, 50:4, 317-28

Cette expérience avait comme objectif de tester l'efficacité des acariens *N. californicus* et *P. persimilis* pour la réduction des populations de *T. urticae* dans les pépinières de clémentines en Espagne. Les essais ont été effectués dans des serres similaires aux pépinières pour la production de jeunes clémentines. Les résultats ont démontré que l'introduction des acariens prédateurs avait diminué la population de *T. urticae* de 80 à 100% et les dommages sur les plants de 50 à 90%.

ARTHURS, S., MCKENZIE, C., CHEN, J., DOGRAMACI, M., BRENNAN, M., HOUBEN, K. et OSBORNE, L. 2009. Evaluation of *Neoeiulus cucumeris* and *Amblyseius swirskii* (Acari: Phytoseiidae) as biological control agents of chilli thrips, *Scirtothrips dorsalis* (Thysanoptera: Thripidae) on pepper, *Biological Control*, 49:1, 91-96

Une étude a été effectuée sur l'impact des acariens *Neoeiulus cucumeris** et *Amblyseius swirskii* sur les populations de thrips dans des productions de piments en serre et en champ en Floride. Les plants étaient dans des pots dont la moitié a été placée en serre et l'autre à l'extérieur. Les essais ont démontré que les deux prédateurs avaient un taux d'infestation inférieur aux témoins, dans les conditions en serre et extérieurs, et que *A. swirskii* était le plus efficace. Les acariens ont aussi pu se reproduire dans les deux environnements.

AZAZY, A., ABDELALL, M., EL-SAPPAGH, I. et KHALIL, A. 2018. Biological control of the onion thrips, *Thrips tabaci* Lindeman (Thysanoptera: Thripidae), in open fields using Egyptian entomopathogenic nematode isolates, *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 28:1, 1-6

Des essais ont été réalisés sur des champs d'oignons afin de vérifier l'impact des nématodes sur les populations de thrips. *Heterorhabditis indica* s'est montré comment étant le plus efficace contre les thrips à une concentration de 10 000 juvéniles par millilitre avec une baisse de 71,8 et 65,6% des populations de larves et d'adultes respectivement.

FADAMIRO, H., AKOTSEN-MENSAH, C., XIAO, Y. et ANIKWE, J. 2013. Field Evaluation of Predatory Mites (Acari: Phytoseiidae) for Biological Control of Citrus Red Mites, *Panonychus citri* (Trombidiformes: Tetranychidae), *Florida Entomologist*, 96:1, 80-91

L'étude a évalué l'efficacité de trois acariens prédateurs (*G. occidentalis*, *P. persimilis* et *N. californicus*) sur le contrôle de l'acarien *Panonychus citris* dans les vergers d'agrumes en Alabama. Les observations ont été réalisées

* Des études ont démontré que *A. swirskii* performait davantage que *N. cucumeris* dans le contrôle des thrips dans les productions en champ (Kakkar et al., 2016).

dans les champs de mandarines à deux fermes différentes. Les résultats ont démontré une plus forte quantité d'œufs de *P. citris* dans les champs témoins que ceux ayant été introduits des acariens prédateurs. Aussi, grâce aux prédateurs naturels, le seuil d'intervention n'a pas été atteint pendant toute la durée de l'expérience (35 jours).

JACOBSON, R. J., CROFT, P. et FENLON, J. 2001. Suppressing Establishment of *Frankliniella occidentalis* Pergande (Thysanoptera : Thripidae) in Cucumber Crops by Prophylactic Release of *Amblyseius cucumeris* Oudemans (Acarina : Phytoseiidae), *Biocontrol Science and Technology*, 11:1, 27-34

Une expérience a été menée sur l'introduction de l'acarien *Amblyseius cucumeris* dans une serre produisant des concombres pour réduire les populations de thrips *Frankliniella occidentalis*. L'introduction des prédateurs naturels s'est faite par des sachets de culture sur chacun des plants. Ceci a eu pour effet la suppression des populations de thrips lorsque les sachets ont été placés immédiatement après avoir planté les légumes. De nombreux producteurs de concombres en serre ont adopté cette méthode pour avoir un meilleur contrôle sur les populations de thrips.

KAKKAR, G., KUMAR, V., SEAL, D. R., LIBURD, O. E. et STANSLY, P. A. 2016. Predation by *Neoseiulus cucumeris* and *Amblyseius swirskii* on *Thrips palmi* and *Frankliniella schultzei* on cucumber, *Biological Control*, 92:1, 85-91

L'expérience avait pour but de connaître les effets des acariens *Neoseiulus cucumeris* et *Amblyseius swirskii* sur les thrips *Frankliniella schultzei* et *Thrips palmi* dans la production de concombre en laboratoire, en ombrière et en champ. Dans les essais aux champs, *A. swirskii* a permis de réduire les populations de *T. palmi* sur les feuilles. L'étude a aussi démontré que l'utilisation de prédateur avait une efficacité telle que pouvait égaler à l'utilisation du contrôle chimique.

LACEY, L. et GEORGIS, R. 2012. Entomopathogenic Nematodes for Control of Insect Pests Above and Below Ground with Comments on Commercial Production, *Journal of Nematology*, 44:2, 218-225

Il s'agit d'une analyse littéraire sur l'efficacité des nématodes entomopathologiques afin de contrôler les insectes ravageurs. L'un des avantages de leur utilisation est leur rapidité pour infecter les ravageurs résultant en une baisse des niveaux d'infestation. L'article fait aussi état de l'efficacité des nématodes selon leur méthode d'application. Les résultats de leurs effets sur les populations des insectes peuvent être variables mais, lorsque les conditions sont avantageuses, les nématodes peuvent diminuer considérablement les populations d'insectes ravageurs.

SAMPSON, C. et KIRK, W. 2016. Predatory mites doubles the economic injury level of *Frankliniella occidentalis* in strawberry, *BioControl*, 61:1, 661-669

Cette expérience avait comme objectif le contrôle des thrips *Frankliniella occidentalis*, dans des mini-tunnels (ouverture sur les côtés) en fraisière, par l'acarien *Neoseiulus cucumeris*. Les «economic injury level» (EILs) ont été évalués en fonction des dommages observés sur les fraises selon la densité de thrips et de *N. cucumeris* introduites. L'EILs est le plus petit nombre d'insectes (quantité de blessure) qui causera des pertes de rendement égales aux coûts de gestion de ces insectes. Les résultats démontrent que les EILs ont doublés en présence de prédateurs, comparativement aux témoins. Il y avait en moyenne 8 thrips par fleur pour une densité de 5 acariens prédateurs par fleur.

SHAPIRO-ILAN, D., MIZELL III, R., COTTRELL, T. E. et HORTON, D. L. 2003. Measuring field efficacy of *Steinernema feltiae* and *Steinernema riobrave* for suppression of plum curculio, *Conotrachelus nenuphar* larvae, *Biological Control*, 30:1, 496-503

L'objectif de la recherche était de mesurer les effets des nématodes *Steinernema feltiae* et *Steinernema riobrave* sur le contrôle des larves du charançon de la prune (*Conotrachelus nenuphar*) dans des vergers de pêches à deux fermes différentes. *S. riobrave* a permis de diminuer de 97% les populations de *C. nenuphar* sur deux des trois premiers essais et de 77,5% sur le quatrième. *S. feltiae* avait démontré en laboratoire être très virulent contre le charançon de la prune. Cependant, les résultats sur le terrain ont été décevants. Cette inefficacité a été attribuée au fait que ce nématode était davantage adapté au climat plus froid.