

Suivis de biodiversité Campagne 2020 – 2021

Louise BELAMY, Léonore GOSSELIN, Monique CHARIOT



Suivis de biodiversité

Campagne 2020-2021

Photographies de couverture :

- Pucerons *Metopolophium dirhodum* aptères, une des espèces de pucerons des céréales recherchée (photographie de FREDON CVL)
- Une parcelle dans le 28, suivie en 2020 (photographie de FREDON CVL)

Table des matières

INTRODUCTION	1
1. Matériel et méthodes	3
1.1 Parcelles d'études.....	3
1.2 Dispositif expérimental	3
1.3 Méthodes de réalisation des suivis de populations.....	5
1.3.1 Suivi des ravageurs par piégeage chromatique.....	5
1.3.2 Etude des populations de ravageurs par notations visuelles	5
1.3.3 Suivi des auxiliaires par aspirations.....	7
1.3.4 Analyses de virose	9
1.4 Analyse statistique des données	11
2. Résultats et discussion	13
2.1 Dynamiques de vols des cicadelles <i>Psammotettix alienus</i>	13
2.2 Suivi des populations de pucerons.....	13
2.2.1 Dynamiques de vol des pucerons.....	13
2.2.2 Suivi par notations visuelles	17
2.3 Suivi des populations d'auxiliaires par aspiration de transects	19
CONCLUSION ET PERSPECTIVES	21
REMERCIEMENTS	25
BIBLIOGRAPHIE	25
ANNEXES	29

INTRODUCTION

La filière des grandes cultures et notamment celle du blé, est l'une des filières les plus importantes pour l'agriculture en France (48% de la surface agricole en 2019 pour les grandes cultures, 53% de l'agriculture céréalière pour le blé) (INSEE, 2021; FranceAgriMer, 2022). Avec l'intensification générale des pratiques agricoles de la fin du XXe siècle, il s'agit aujourd'hui d'une filière qui soulève diverses problématiques environnementales. Il devient de plus en plus urgent de trouver des solutions face à la pollution des eaux de surface par l'usage des produits phytosanitaires, aux émissions de gaz à effet de serre (protoxyde d'azote avec la fertilisation azotée), ou encore à la perte de biodiversité (dont pollinisateurs) (HUGONNET & BERNARD-MONGIN, 2022). Si la diminution des produits phytosanitaires et l'interdiction de certaines molécules (interdiction des néonicotinoïdes) constituent des premières réponses pour réduire l'impact de ces cultures, elles engendrent des difficultés techniques voire des impasses pour les producteurs. La gestion des ravageurs, entre autres, redevient un défi considérable en vue d'une récolte de qualité et rentable.

C'est dans ce contexte, et suite à une campagne fortement marquée par des dégâts de viroses transmises par certaines espèces de pucerons et de cicadelles, qu'est né le projet ICIBA (Intérêts des **C**ultures Innovantes de **B**lé **A**ssocié). Ce projet pluripartenaire est mené par la Chambre Régionale d'Agriculture du Centre Val de Loire en raison de l'importance de la culture du blé dans la région, cette culture représente en effet 14% du blé tendre et 22% du blé dur français (BERSONNET, 2016; FranceAgriMer, 2021).

Le projet d'une durée de trois ans (campagnes 20-21, 21-22 et 22-23) vise à comparer les performances agronomiques de trois associations blé - plantes compagnes au témoin blé seul conventionnel ainsi que leur effet sur les populations de ravageurs. Les couverts pourraient permettre une diminution des populations de pucerons et de cicadelles d'automne en favorisant la faune auxiliaire et/ou en perturbant l'environnement des ravageurs (NIYIBIZI GAKURU, 2020).

FREDON Centre Val de Loire, spécialiste de la santé du végétale, a été sollicitée dans ce projet pour réaliser le suivi des populations de ravageurs et d'auxiliaires au sein des différentes parcelles réparties dans les départements d'Eure-et-Loir, de l'Indre, du Cher et du Loiret. Plusieurs notations ont ainsi été mises en place afin d'évaluer les populations de cicadelles *Psammotettix alienus* et des pucerons du blé (*Rhopalosiphum padi*, *Sitobion avenae* et *Metopolophium dirhodum*), vecteurs respectifs de la maladie des pieds chétifs (Wheat Dwarf Virus WDV) et de la Jaunisse Nanisante de l'Orge (JNO). Les populations de pucerons des plantes compagnes (*Aphis fabae*, *Acyrtosiphon pisum* et *Megoura viciae*), qui constituent des

Tableau 1 : Liste des différents sites expérimentaux (source : FREDON CVL)

Coordinateur	Ordre de parcelle	Commune
FDGEDA 18	1	Mehun-sur-Yèvre
	2	Allouis
	3	Allouis
SCAEL	4	Logron
	5	Saint Eliph
CA 36	6	Bouges-le-Château
	7	Liniez
CA 45	8	Triguères
	9	Chuelles
	10	Chuelles

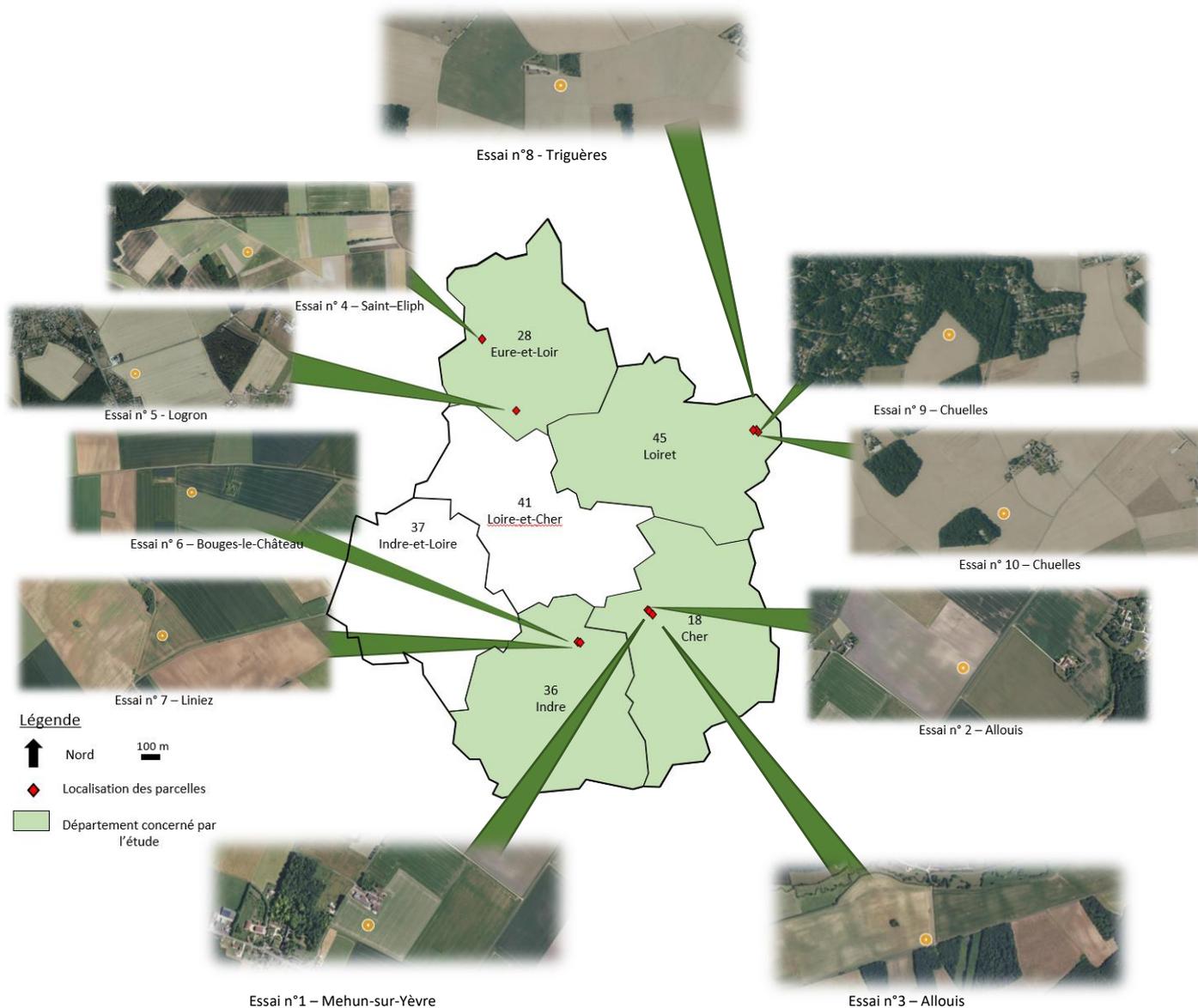


Figure 1 : Localisation et photos aériennes des différents sites du projet ICIBA (conception FREDON CVL adapté de Géoportail)

hôtes alternatifs pour les auxiliaires, ainsi que les populations d'auxiliaires (syrphes, hyménoptères parasitoïdes...) sont également étudiées.

Durant la campagne 2020-2021, plusieurs associations de cultures sont testées en micro-parcelles afin de choisir les plantes compagnes compatibles d'un point de vue technico-économique avec le blé d'hiver, tout en ayant des propriétés intéressantes (espèce florifère, ressources en nectar extrafloral, apport d'hôtes alternatifs pour les auxiliaires...). En raison de ses bénéfiques déjà connus, l'association blé-féverole a été adoptée directement et sera la seule étudiée dans la suite de ce rapport (CORRE-HELLOU et al., 2013; CHEVALIER, 2018).

1. Matériel et méthodes

1.1 Parcelles d'études

Le dispositif de la campagne 2020-2021 repose sur 10 parcelles de blé de producteurs volontaires (tableau 1) :

- 3 parcelles dans le département du Cher (18) suivies par la FDGEDA 18,2 parcelles dans le département d'Eure-et-Loir (28) suivies par la SCAEL (Société Coopérative Agricole d'Eure-et-Loir),
- 2 parcelles dans l'Indre (36) suivies par la Chambre d'Agriculture du 36,
- Et, 3 parcelles dans le Loiret (45) suivies par la Chambre d'Agriculture du 45.

Pour chaque département, les parcelles, ou sites, sont les plus proches possibles pour faciliter les notations (figure 1).

1.2 Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental est un dispositif en bande. Chaque bande d'essai mesure 20 mètres de large sur 60 mètres de long. Une bande correspond à une modalité. Seules deux modalités sont implantées pour la campagne 2020-2021 : **B0** pour le « blé seul » et **B1** pour l'association « blé + féverole » (figure 2). La féverole a été semée 3 à 4 semaines avant le blé, entre début août et mi-septembre, de sorte à être suffisamment développée pour fournir du nectar extrafloral aux auxiliaires ou pour gêner les ravageurs (modification du profil olfactif, modification du champ de vision...). Les conditions météorologiques trop humides ont imposé un semis tardif. A l'inverse, le semis direct du blé a été décalé en raison d'un temps trop sec, ce qui se répercute sur les résultats. Aucun traitement insecticide n'est réalisé durant la période d'implantation de l'essai.

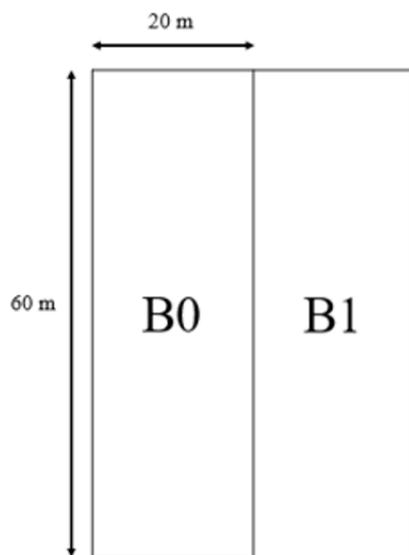


Figure 2 : Schéma d'un essai bande
(source : FREDON CVL)



Figure 3 : Dispositif de cuvette jaune



Figure 4 : Dispositif de plaque engluée



Figure 5 : *Psammotettix alienus*



Figure 6 : *Rhopalosiphum padi*



Figure 7 : *Sitobion avenae*

1.3 Méthodes de réalisation des suivis de populations

1.3.1 Suivi des ravageurs par piégeage chromatique

- **Piégeage en cuvette jaune**

Le piégeage chromatique consiste à attirer un insecte grâce à un élément de couleur vive. Le jaune est particulièrement bien repéré par les cicadelles et les pucerons. Le dispositif de cuvette jaune appartient à cette catégorie de piégeage. Il permet de suivre la dynamique de vol des pucerons (figure 3) (Chambre d'agriculture Nouvelle-Aquitaine, 2019). Après le semis du blé, une cuvette est placée en bordure de chaque site, à l'extérieur des modalités. Elle est orientée dans la direction des vents dominants. Les insectes sont piégés grâce à un liquide composé d'eau et de quelques gouttes de liquide vaisselle. A partir de la pose des pièges et jusqu'à la mi-décembre, la cuvette est relevée tous les vendredis. Les insectes récupérés à l'aide d'une passoire sont envoyés à FREDON CVL qui se charge de l'identification et du comptage sous loupe binoculaire. L'échantillon est conservé dans de l'alcool à 70%. En 2020, les relevés ont lieu de la semaine 43 (19/10) à la semaine 50 (07/12).

- **Piégeage sur plaques jaunes engluées**

Les cicadelles et pucerons ailés sont capturés à l'aide de plaques jaunes glissées dans des pochettes plastiques transparentes. L'ensemble {plaque + pochette} est plaqué au sol par des piquets ou cailloux et couvert de glue sur la face exposée (figure 4). Cette méthode est couramment utilisée pour la gestion de risque des cicadelles (Chambre d'agriculture Nouvelle-Aquitaine, 2019). Le suivi commence après le semis du blé, avec un relevé hebdomadaire le vendredi. Les plaques sont envoyées à FREDON CVL pour le comptage des cicadelles *Psammotettix alienus* et des pucerons sans distinction des espèces. Durant la campagne 2020-2021, les relevés ont eu lieu de la semaine 43 (19/10) à la semaine 50 (07/12).

Les cicadelles dénombrées correspondent à *P. alienus*, l'espèce responsable de la maladie des pieds chétifs WDV. Elle se distingue des autres espèces du genre *Psammotettix* par sa taille (3.6 mm à 4.4 mm à l'âge adulte), sa couleur caramel et ses pattes postérieures épineuses. Les ailes fumées et le vertex sont eux-aussi caractéristiques, de même que le masque facial qui possède des bandes marrons et beiges (figure 5) (ARVALIS- Institut du végétal, s.d.).

1.3.2 Etude des populations de ravageurs par notations visuelles

L'étude des populations de pucerons s'effectue également par des notations visuelles sur le terrain. Trois espèces de pucerons pouvant développer des populations sur cultures de céréales d'automne sont majoritairement susceptibles de véhiculer la JNO (figures 6 à 8). Par



INRAE / RABASSE Jean-Michel

Figure 8 : *Metopolophium dirhodum*



INRAE / CARRE Serge

Figure 9 : *Acyrtosiphon pisum*



FREDON Hauts de France

Figure 10 : *Aphis fabae*



FREDON CVL

Figure 11 : Réalisation d'une aspiration le long d'une ligne de semis

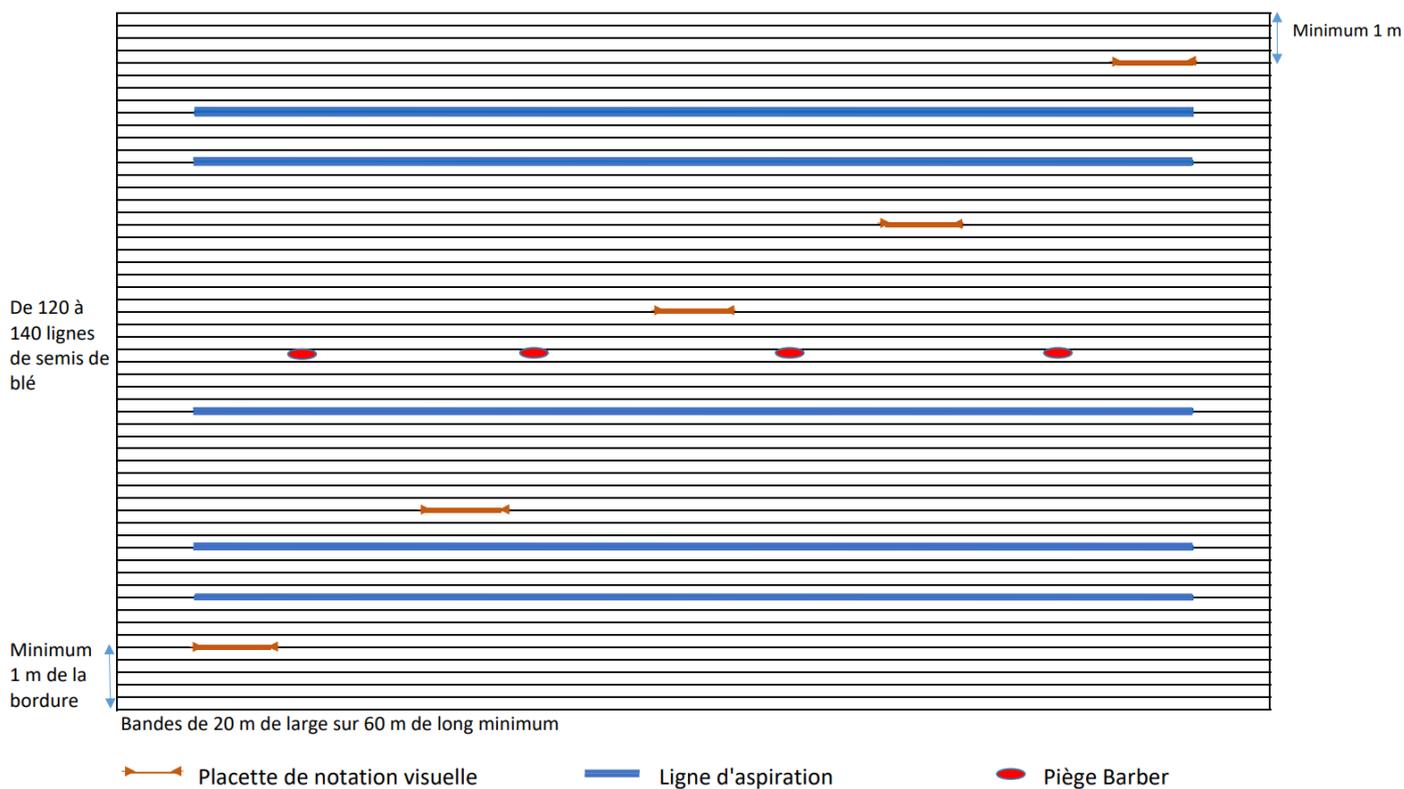


Figure 12 : Schéma des emplacements des différentes notations de l'essai (conception FREDON CVL)

ordre décroissant d'importance pour la transmission du virus, il s'agit de *Rhopalosiphum padi*, *Sitobion avenae* et *Metopolophium dirhodum*. Sur féverole, deux pucerons sont observés : *Acyrtosiphon pisum* et *Aphis fabae* (figures 9 et 10). Les critères d'identification sont consultables en annexe 1.

L'échantillon retenu est de 100 plants pour le blé et de 25 plants pour la féverole, répartis dans la bande. La répartition se fait sur 5 placettes, déterminées au préalable et identifiées par des piquets, à raison de 20 pieds/placette pour le blé et 5 pieds/placette pour la féverole. Les placettes sont installées de sorte à éviter de gêner et d'être gêné par les autres notations de l'essai (figure 6). Les observations ont lieu sur le même emplacement pour les trois suivis de la saison (tableau 2).

Les notations permettent aussi d'avoir une première appréciation sur le nombre de pucerons parasités par les micro-hyménoptères.

1.3.3 Suivi des auxiliaires par aspirations

Afin d'examiner l'intérêt des associations sur la faune auxiliaire, des aspirations à l'aide d'un aspirateur thermique (figure 11) sont réalisées sur tous les sites.

▪ **Dispositif d'aspiration**

Deux portions de lignes de 20 mètres chacune sont délimitées par des piquets bleus et correspondent à un transect (figure 12). Pour chaque date d'aspiration (tableau 2), deux transects sont aspirés pour la modalité **B0** « blé seul » et deux autres sont aspirés pour la modalité **B1** « blé + féverole ». Deux échantillons sont ainsi aspirés par bande, l'un à destination du Laboratoire d'Eco-Entomologie d'Orléans (LEE) pour identification des insectes aspirés, l'autre transmis à l'Institut Agro d'Angers afin d'entreprendre des analyses glucidiques sur les parasitoïdes de pucerons. Suite à un faible nombre d'individus lors de la première date d'aspiration, la dimension du transect est passée de 2x20m à 2x40m.

L'aspiration s'effectue le long d'une ligne à hauteur de la végétation en veillant à passer sur toutes les plantes. Une fois les deux lignes aspirées, le contenu du manchon de l'aspirateur est transféré dans un sac congélation ZIP de 6L identifié. Il est placé temporairement dans une glacière contenant des pains de glace en attendant la fin de l'aspiration. A l'issue de toutes les aspirations, les sacs sont déplacés dans une glacière-congélateur branchée au véhicule et maintenue à -20°C.

Voir rapport annuel de l'Institut Agro Angers pour les résultats d'analyses glucidiques

Tableau 2 : Calendrier des notations visuelles et aspirations

Parcelle	Date 1 ^{ère} notation	Date 2 ^{ème} notation	Date 3 ^{ème} notation
1	05/11/20	18/11/20	09/12/20
2	05/11/20	18/11/20	09/12/20
3	05/11/20	18/11/20	09/12/20
4	04/11/20	18/11/20	30/11/20
5	04/11/20	18/11/20	30/11/20
6	06/11/20	17/11/20	30/11/20
7	06/11/20	17/11/20	30/11/20
8	05/11/20	19/11/20	01/12/20
9	05/11/20	19/11/20	01/12/20
10	05/11/20	19/11/20	01/12/20

▪ **Tri des insectes aspirés**

Le tri des sachets d'aspiration s'organise différemment selon l'organisme destiné à recevoir l'échantillon.

La moitié des échantillons aspirés est adressée à l'Institut Agro d'Angers pour analyser les glucides contenus dans l'estomac des hyménoptères Aphidiinae et Aphelinidae parasites de pucerons. Les différentes compositions de sucres retrouvées permettent de conclure sur l'alimentation des parasitoïdes (miellat, nectar extrafloral, famine) et d'évaluer l'effet des plantes compagnes du blé pour les favoriser. Pour effectuer ces analyses, les insectes doivent rester congelés afin de bloquer la digestion des sucres.

La première phase du tri s'effectue au sein du sachet d'aspiration, dans une boîte isotherme remplie de glace. Les éléments minéraux et végétaux sont observés minutieusement pour retirer les insectes présents dessus avant d'être jetés. Le reste du tri s'effectue sous loupe binoculaire. Un plateau rempli de glace est installé sous la platine de la loupe, dans lequel une boîte de Petri est insérée. Le sachet d'aspiration contenant les insectes est vidé dans la boîte et seuls les Aphidiinae et Aphelinidae sont disposés individuellement dans des tubes Eppendorfs identifiés et placés directement au congélateur. La manipulation des hyménoptères doit se faire exclusivement avec un pinceau ou des pinces plates, en veillant à ne les attraper que par les pattes le cas échéant. En effet, les ailes sont primordiales pour l'identification, et un appui accidentel sur l'abdomen de l'insecte pourrait provoquer une régurgitation et ainsi compromettre l'analyse glucidique.

L'autre moitié des échantillons est destinée au LEE. Celui-ci procède à l'identification des insectes collectés, au dénombrement des pucerons et cicadelles parasités ou non, des auxiliaires prédateurs et des micro-hyménoptères parasitoïdes des pucerons. Le tri s'effectue alors sans glace. Le contenu du sachet est versé dans un plateau, les éléments grossiers sont examinés comme indiqué précédemment et séparés des insectes. Les individus sont manipulés de la même façon. Les collemboles et les acariens ne sont pas conservés.

1.3.4 Analyses de virose

En fin de campagne, des analyses de viroses (JNO et WDV) sont réalisées. Pour les deux modalités, 30 plantes sont prélevées par tranche de 5 plantes disposées dans la diagonale de la bande. L'analyse s'effectuant sur la partie aérienne de la plante, il est nécessaire de récupérer l'appareil caulinaire qui doit être vert. Les prélèvements ont lieu dès la reprise de végétation, une fois le stade « épi 1 cm » atteint et avant le stade « 2 nœuds ». Ils sont envoyés au Laboratoire d'analyses GALYS qui est chargé de l'analyse.

Voir rapport annuel de la FDGEDA 18 pour les résultats d'analyses de virose

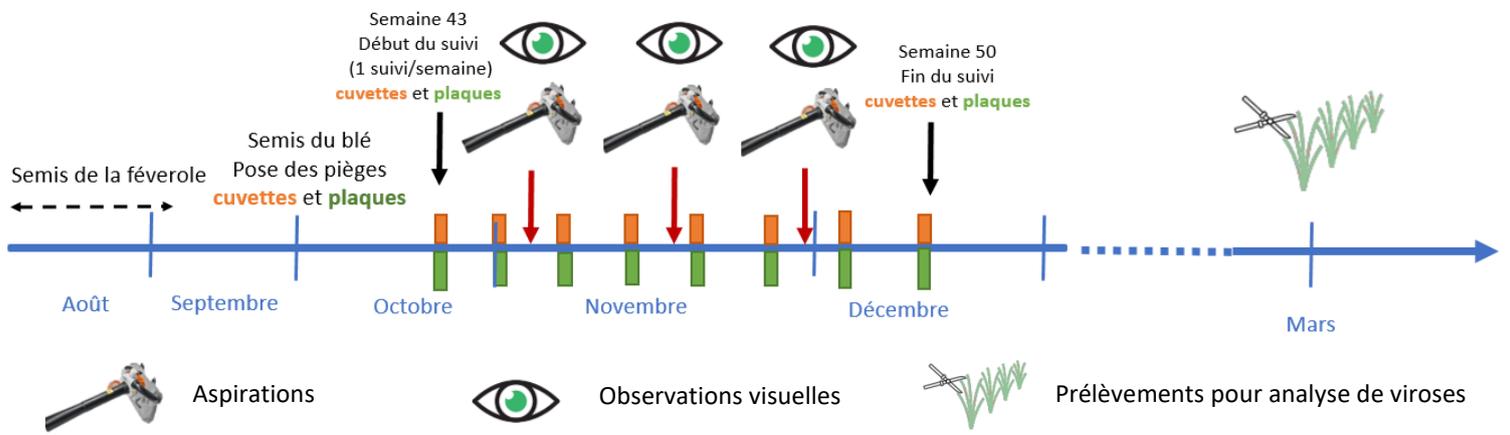


Figure 13 : Frise chronologique des différentes notations pour la campagne 2020-2021

Le récapitulatif des notations et leur chronologie sont visibles sur la frise en figure 13.

1.4 Analyse statistique des données

L'ensemble des notations vise principalement à observer l'effet de la présence des plantes compagnes sur des effectifs d'individus (nombre de cicadelles, de pucerons, d'auxiliaires...). En effet, la plante compagne pourrait perturber visuellement et/ou chimiquement les ravageurs (Niyibizi Gakuru, 2020) et favoriser la présence d'auxiliaire en fournissant un abri et/ou des ressources trophiques (BREVAULT et al., 2019; LUQUET, 2019). La variable réponse « Nombre d'individus » engendrée dépend indirectement de nombreux facteurs dont il faut tenir compte lors de l'exploitation des résultats. En effet, la localisation de la parcelle influe sur son environnement et le climat, tandis que la météo est amenée à varier selon les dates de relevés. Parallèlement, la date de semis du blé et des plantes compagnes et la densité des plantes compagnes vont aussi influencer sur la variable réponse.

Les données récoltées sont issues de comptage (entiers strictement positifs) L'analyse statistique ne peut pas s'effectuer selon un modèle linéaire général et doit se faire avec un modèle linéaire généralisé (Generalized Linear Models ou GLM) (NOËL, 2015). L'utilisation de ce type de modèle requiert l'indépendance des variables. Or, pour simplifier l'étude, certaines variables explicatives non quantifiées ont été regroupées : par exemple, l'environnement, le climat, le développement des plantes compagnes sont sous-entendus dans la variable « Parcelle ». Cela génère un effet bloc et donc la non-indépendance des données. Ainsi, le GLM ne peut pas être utilisé tel quel. L'analyse statistique est donc effectuée grâce à un modèle linéaire généralisé à effets mixtes (Generalized Linear Mixed Models, ou GLMM).

Pour l'utilisation de ce GLMM, il faut s'assurer qu'il n'y a pas de surdispersion des données. Cette condition est vérifiée dans les analyses grâce à un test de X^2 de Pearson. S'il n'y a pas de surdispersion, le modèle de Poisson peut être utilisé, autrement un modèle binomial négatif est employé. Une fois ces ajustements effectués, l'analyse statistique se poursuit avec une ANOVA (test d'analyse de la variance) et un test post-hoc de « Tukey » en cas de différence significative des résultats.

L'ensemble de ces manipulations ont été effectuées grâce au logiciel RStudio. Les principaux packages utilisés sont « ggplot2 », « dplyr », « lme4 », « glmmTB », « car », « multcomp » et « rstatix ».

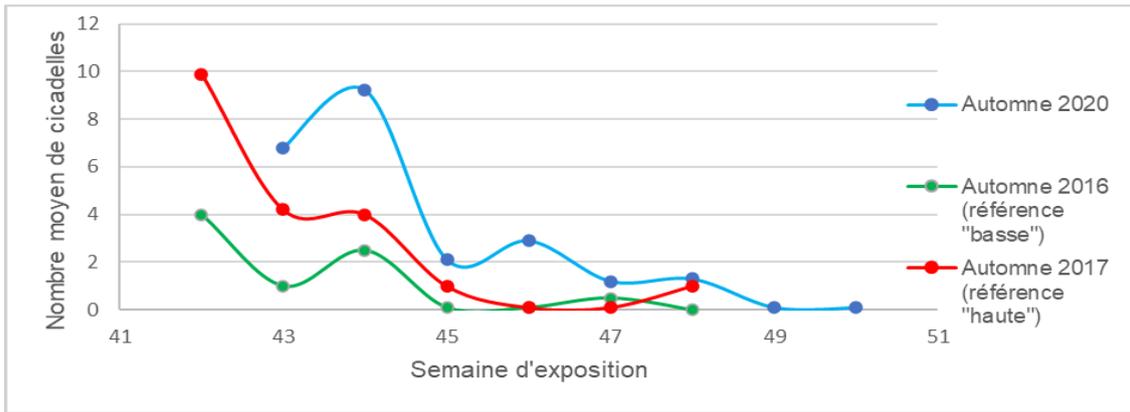


Figure 14 : Moyenne des captures hebdomadaires des cicadelles *Psammotettix alienus* sur plaques engluées en blé seul.

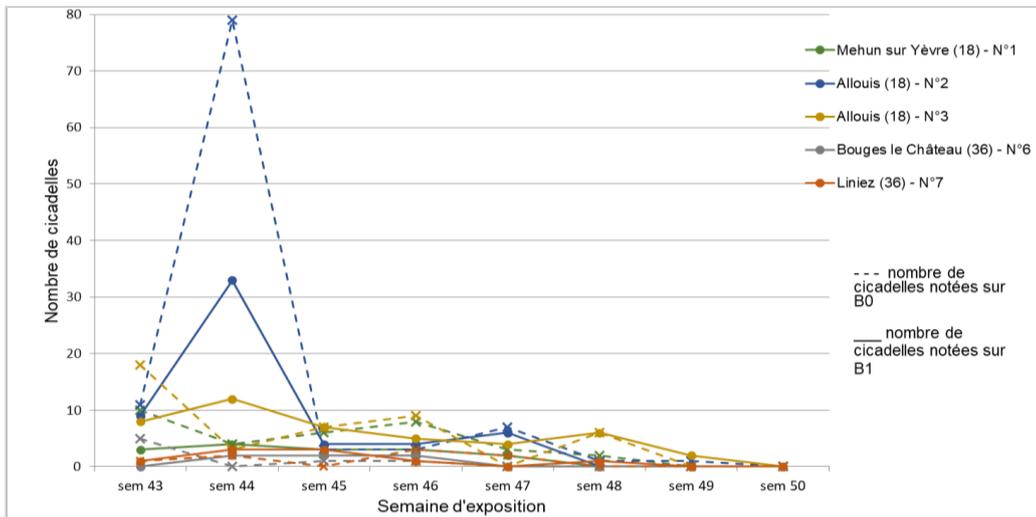


Figure 15 : Evolution des populations de cicadelles dans les départements du 18 et du 36

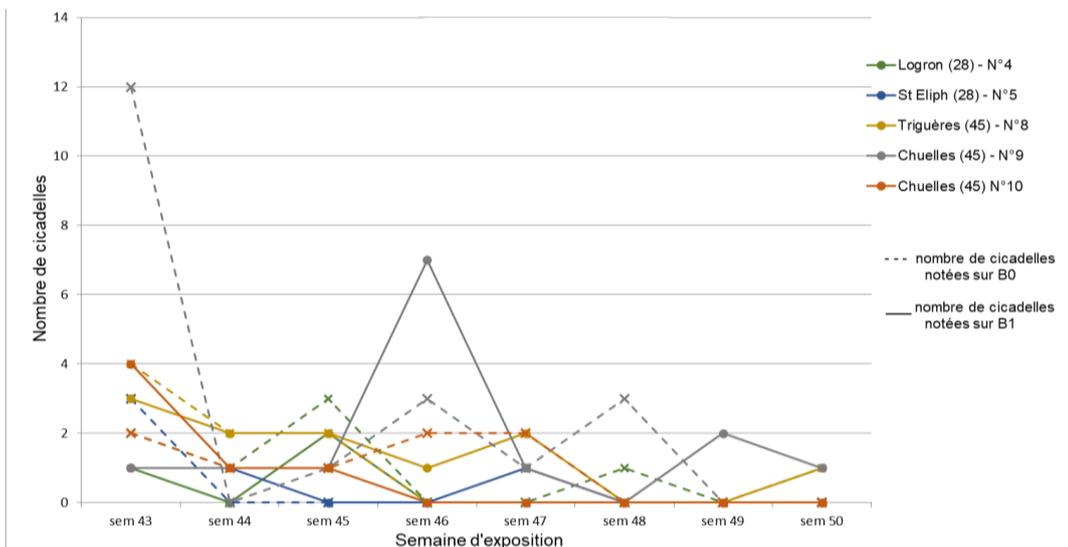


Figure 16 : Evolution des populations de cicadelles dans les départements du 28 et du 45

2. Résultats et discussion

2.1 Dynamiques de vols des cicadelles *Psammotettix alienus*

Le nombre moyen de cicadelles capturées sur plaques jaunes engluées dans l'ensemble des essais permet de représenter la dynamique de vol (figure 14). Les références « basses » et « hautes » visibles sur le graphique correspondent à des observations effectuées dans le cadre des Bulletins de Santé du Végétal (BSV) qui utilisent le même protocole.

La courbe de l'automne 2020 se situe bien au-dessus des deux courbes de référence, ce qui indique une année avec une forte pression en cicadelles. Le pic de population apparaissant à la semaine 44 est dû aux relevés des départements du sud de la région (18 et 36) avec des variations selon le site (figure 15), alors que ceux du secteur nord (28 et 45) ne présentent que peu de captures (figure 16). L'évolution des populations de chaque essai s'explique assez facilement par les conditions météorologiques : les températures froides et la pluie rencontrées en semaine 45 ont entraîné une chute du nombre d'individus capturés. L'ensemble des relevés météorologiques de chaque site est disponible en annexe 2.

A l'exception du site n°2 situé à Allouis, la quantité hebdomadaire de cicadelles capturées est inférieure à 30, valeur seuil au-dessus de laquelle le risque est très élevé pour la parcelle. (DECARRIER et al., 2022).

Malgré les variations entre **B0** et **B1** sur les deux graphiques, l'analyse statistique indique qu'il y a significativement moins de cicadelles capturées avec l'association **B1** qu'en blé seul **B0** (figure 17) (p-value = 1.8e-4).

Ce qu'il faut retenir du suivi de *P. alienus* par piégeage chromatique en 2020 :

- La pression en cicadelles est forte à l'automne 2020, avec un pic de captures en semaine 44.
- Les conditions météorologiques influencent grandement les populations de cicadelles : plus il fait froid et plus il pleut, moins il y a de *P. alienus*.
- Il y a davantage de *P. alienus* en **B0** qu'en **B1**

2.2 Suivi des populations de pucerons

2.2.1 Dynamiques de vol des pucerons

La dynamique de vol des pucerons est étudiée par un dispositif de cuvettes jaunes. Pour chaque site expérimental, une seule cuvette est placée en bordure de parcelle sur du blé seul. La modalité n'est donc pas évaluée, mais cela permet l'identification et la quantification des pucerons présents dans la parcelle.

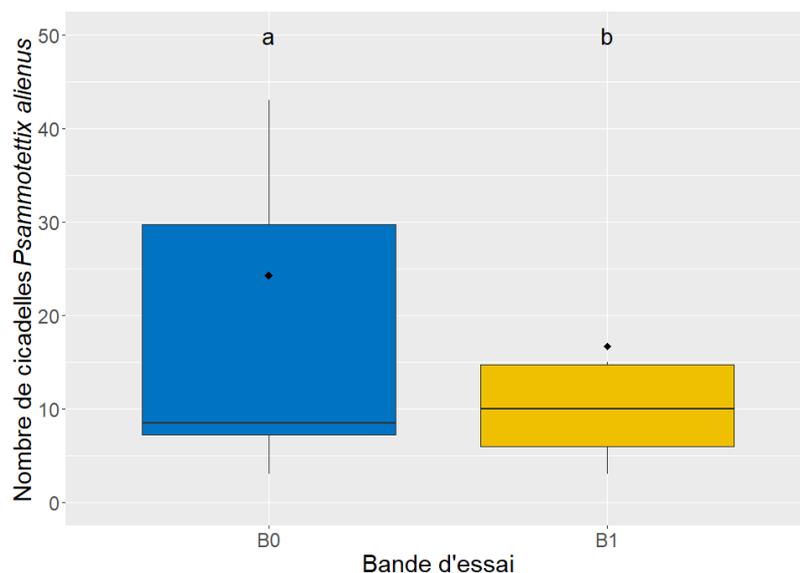


Figure 17 : Distribution du nombre de *P. alienus* sur plaques engluées suivant la bande en 2020. Des lettres différentes indiquent des résultats significativement différents ($p = 1.8e-4$)

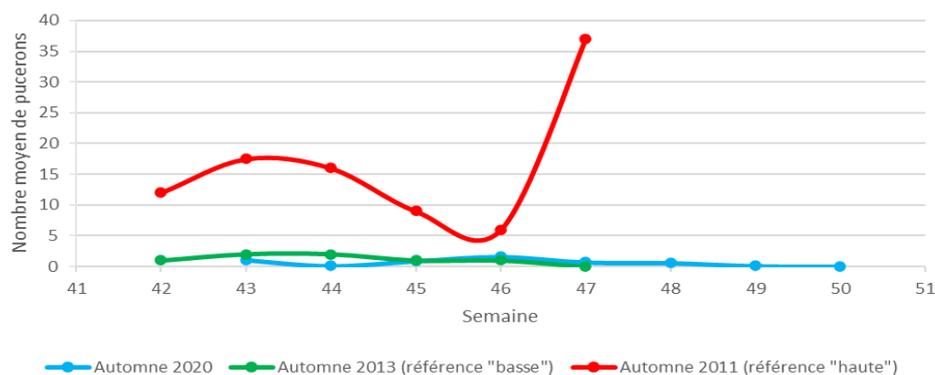


Figure 18 : Moyenne des captures hebdomadaires de pucerons en cuvettes jaunes

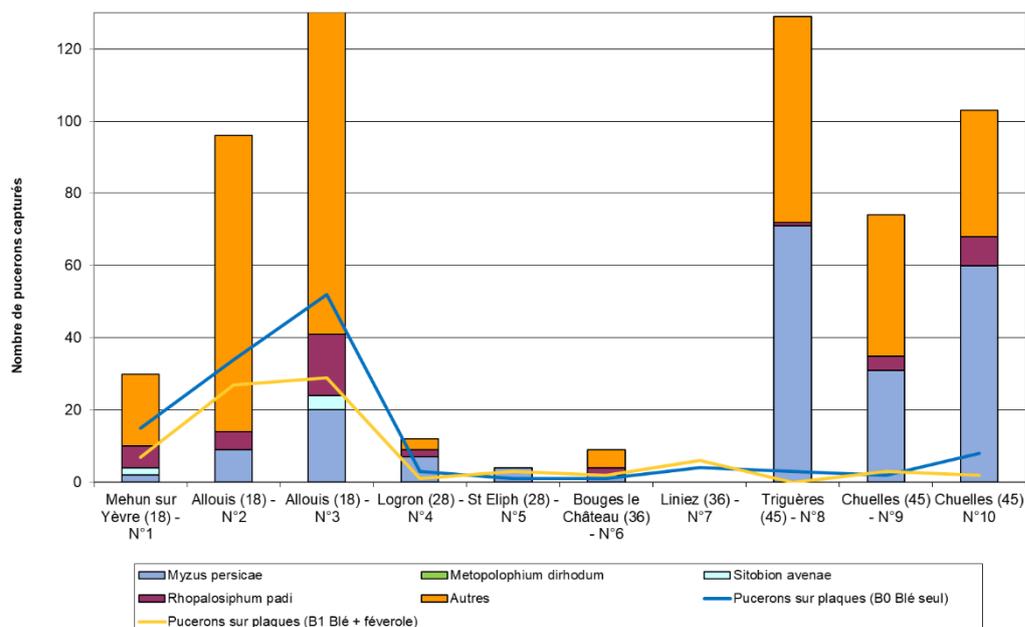


Figure 19 : Distribution des captures de pucerons sur les sites suivant les espèces

L'année 2020 n'est pas une année avec une forte pression en pucerons (figure 18). Les populations observées sont similaires à la référence « basse » issue des données des BSV obtenues selon le même protocole. Le pic de captures est observé en semaine 46 avec 5 pucerons en moyenne. Cette faible population de pucerons s'explique par une migration précoce des individus sur les cultures d'automne. Les semis et levées tardifs de la féverole et du blé ont eu lieu après la migration des pucerons entre les cultures d'été et les cultures d'automne. Ainsi, peu de pucerons ont migré sur les cultures de l'étude.

Au total, 681 individus ont été capturés. Les captures sont cependant très inégales suivant le site d'étude (figure 19). Très peu de pucerons ont été capturés sur les sites du 36 et du 28 (environ moins de 10 captures en 8 semaines), les captures sont plus conséquentes pour les sites du 18 et du 45 (plus de 200 captures en 8 semaines sur le site n°3 du 18). Les relevés sur plaques indiquent également plus de captures pour le site n°3 à Allouis. Toutefois, le détail des espèces rencontrées montre que la plupart des pucerons identifiés correspondent à d'autres espèces de pucerons que ceux du blé (*Myzus persicae* ou autres pucerons). Sur tous les sites, le nombre moyen de captures des trois pucerons principaux du blé est en général inférieur à 20 captures.

Comme constaté avec les cicadelles, l'évolution des populations de pucerons est corrélée à la température et à la présence de pluie. Dès qu'il y a une période avec des températures négatives ou des précipitations, le nombre de pucerons chute sur le relevé correspondant. L'environnement du site (figure 1) influence également la quantité d'individus relevés : site plus ou moins protégé du vent et du froid, proximité éventuelle d'un point d'eau, ce qui favorise le développement d'insectes (sites du 18 proche de l'Yèvre et du Cher). Les parcelles voisines des essais peuvent correspondre à des cultures hôtes des pucerons recherchés en été (maïs), ce qui augmente l'effectif capturé après migration en automne. Enfin, certaines cuvettes sont accidentellement renversées (gibier), cela biaise les relevés (2 cuvettes sur les sites du 36). Tous ces éléments expliquent les variations entre les sites, notamment l'écart entre le site n°3 d'Allouis (18) et les sites du 36.

Les données de tous les essais avec les relevés météorologiques sont disponibles en annexe 2 du rapport.

L'analyse statistique sur les données des plaques engluées confirme une différence significative sur les deux modalités de l'essai (figure 20) : les pucerons ailés sont plus nombreux en **B0** qu'en **B1** (p-value = 2.5e-3).

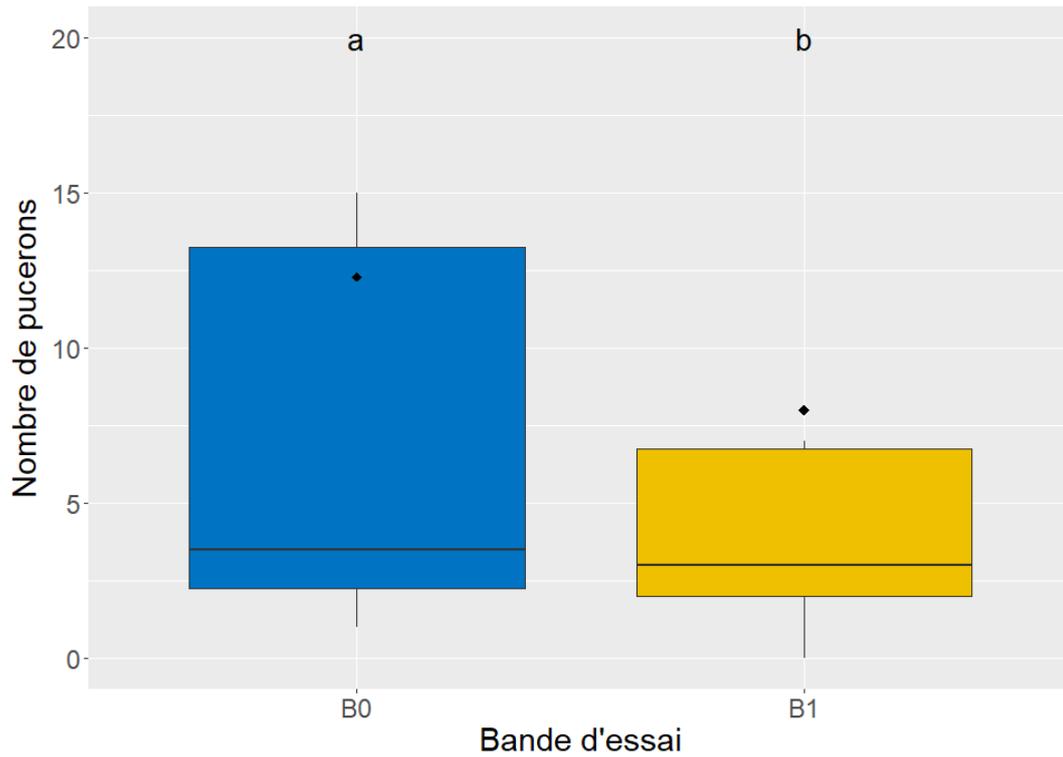


Figure 20 : Distribution du nombre cumulé de pucerons capturés sur plaques engluées.
Des lettres différentes indiquent des résultats significativement différents ($p = 2.5 \text{ e-}3 < 0.05$)

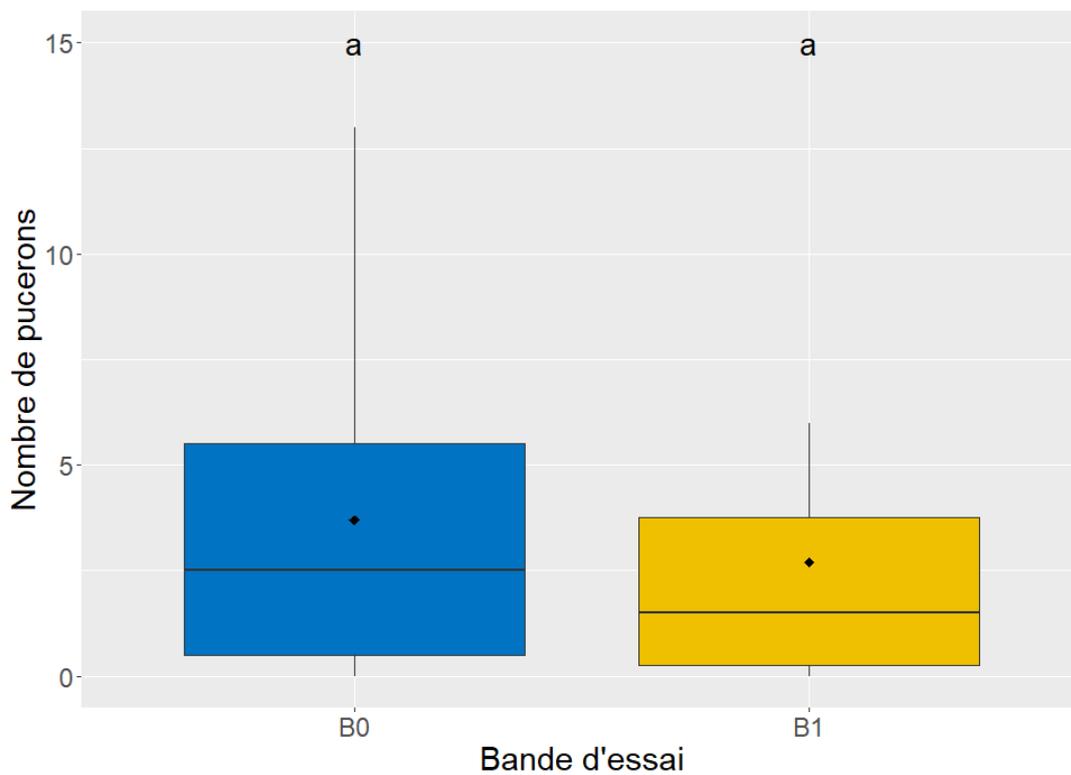


Figure 21 : Distribution du nombre de pucerons observés à l'issue des trois notations visuelles
Des lettres différentes indiquent des résultats significativement différents ($p = 0.4 > 0.05$)

Ce qu'il faut retenir du suivi pucerons par piégeage chromatique en 2020 :

- Peu de pucerons sont recensés sur les essais à l'automne 2020 : le semis tardif du blé alors que les pucerons sont arrivés précocement sur les cultures d'automne en est la principale raison.
- Au total, 203 pucerons appartenant aux trois espèces majoritaires sur blé ont été capturés.
- Les conditions météorologiques sont corrélées aux évolutions de populations mais ne suffisent pas à expliquer les variations inter-sites : l'environnement de la parcelle est aussi à prendre en compte.
- Il y a significativement plus de pucerons ailés en **B0** qu'en **B1**

2.2.2 Suivi par notations visuelles

Les trois notations ont eu lieu sur chaque parcelle à la même date que les aspirations avec environ 15 jours d'intervalle. A l'automne 2020, les notations ont débuté en semaine 45, et ont été poursuivies en semaine 47 et 49. Elles ont été réalisées au moment le plus chaud et sec de la journée dans la mesure du possible, les conditions météorologiques influençant directement la qualité des observations.

En raison d'un trop faible nombre d'individus observés, l'analyse statistique ne permet pas de conclure sur un potentiel effet de l'association **B1** « blé + féverole » (figure 21). Toutefois, il semble exister une tendance à la diminution du nombre de pucerons en **B1** par rapport à **B0**. Cela sera à confirmer lors des campagnes suivantes.

Cette faible quantité de pucerons peut avoir été accentuée par le semis tardif : comme mentionné précédemment, les pucerons ont migré tôt dans les cultures d'automne et ont donc peu colonisé le blé des parcelles d'étude. De plus, la période favorable au développement des pucerons a été très courte par rapport à l'arrivée rapide d'une météo défavorable.

Le parasitisme de pucerons par les micro-hyménoptères parasitoïdes n'a pas pu être évalué statistiquement puisque seuls 2 pucerons parasités ont pu être observés pendant les notations visuelles. En revanche, il y a eu beaucoup de parasitisme de pucerons par des champignons Entomophthorales.

Ce qu'il faut retenir du suivi pucerons par notations visuelles en 2020 :

- Tendance à avoir plus de pucerons en **B0** qu'en **B1** mais pas d'effet significatif : à confirmer avec les résultats des campagnes suivantes.
- Très peu d'auxiliaires ont été observés lors des notations visuelles, ce qui renforce l'intérêt des aspirations pour le suivi de la faune auxiliaire.

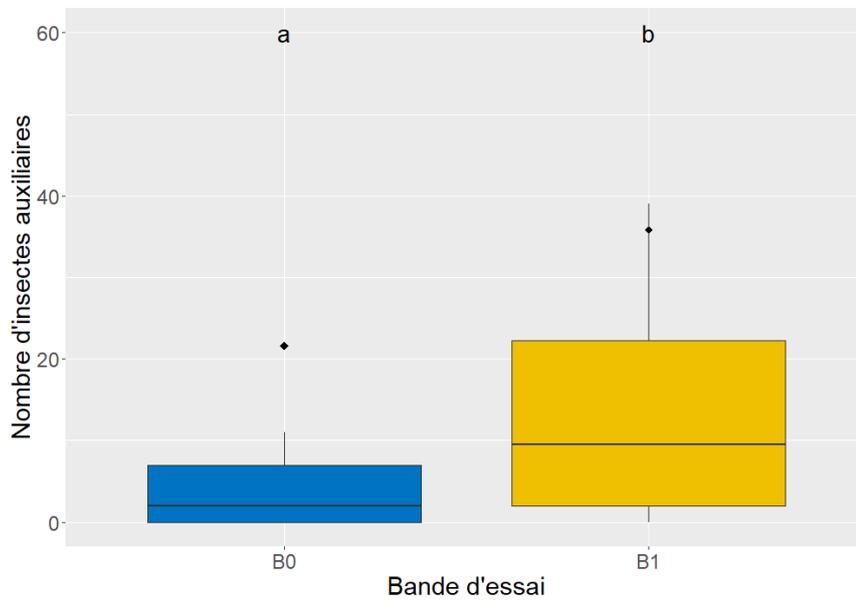


Figure 22 : Distribution du nombre d'auxiliaires aspirés en 2020 suivant la bande d'essai
Des lettres différentes indiquent des résultats significativement différents ($p = 7.5e-3 < 0.05$)

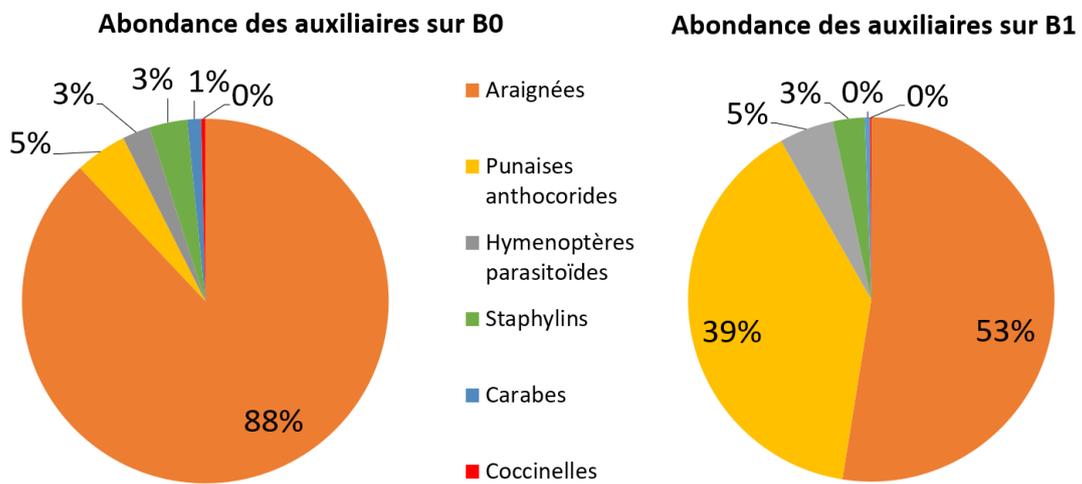


Figure 23 : Abondance des auxiliaires sur B0 et sur B1

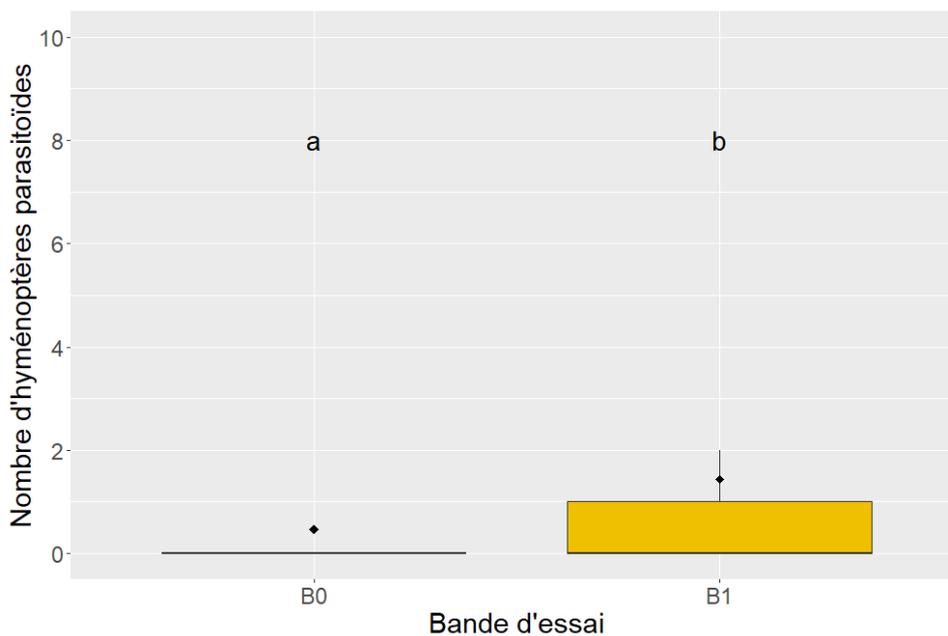


Figure 24 : Nombre d'hyménoptères parasitoïdes des pucerons du blé aspirés en 2020
Des lettres différentes indiquent des résultats significativement différents ($p = 1.6e-4 < 0.05$)

2.3 Suivi des populations d'auxiliaires par aspiration de transects

L'effet potentiel de la culture associée « blé + féverole » sur les populations d'auxiliaires a pu être étudié grâce aux aspirations et à l'identification après tri des insectes par le Laboratoire d'Eco-Entomologie d'Orléans (LEE).

Le nombre d'auxiliaires (hors araignées) est significativement plus important dans la modalité **B1** « blé + féverole » que dans la modalité **B0** « blé seul » (p -value = $5.5e-3$) (figure 22). La variabilité est également plus importante en **B1** (coefficient de variation = 44.5%) qu'en **B0** (coefficient de variation = 26.7%). En analysant les classes et familles au cas par cas, il n'y a pas toujours de différence significative selon la bande d'essai.

Si, en termes de diversité, les deux modalités contiennent les mêmes classes, les proportions sont plus importantes en **B1**, notamment concernant les punaises anthocorides et les hyménoptères parasitoïdes des pucerons du blé (genres *Aphidius* et *Ephedrus*) (figure 23). Ces deux groupes sont également les seuls à présenter des effectifs significativement plus élevés en **B1** (respectivement p -value = $2.2e-7$ et p -value = $1.6e-4$) (figure 24).

Les hyménoptères parasitoïdes pris en compte dans cette étude appartiennent à la famille des Braconidae (genre *Aphidius* et *Ephedrus* principalement). La présence de ces Aphidiinae s'explique en partie par la densité des couverts : plus le couvert est dense, plus il y a d'individus. En effet, plus le nombre de plantes hôtes de pucerons est important, plus les chances d'attirer les pucerons et donc les parasitoïdes, qui ont besoin des pucerons pour assurer leur reproduction, sont élevées. De plus, le nectar extra-floral présent sur la féverole constitue une ressource complémentaire pour les micro-hyménoptères car il garantit leur alimentation et allonge conséquemment leur longévité. D'après TYLIANAKIS et al. (2004), les apports en sucres augmentent la fécondité des parasitoïdes. Ainsi, en réduisant les deux facteurs limitants de l'activité des parasitoïdes, le temps et le stock d'œufs contenus par les femelles, cela mène à l'augmentation du parasitisme sur les parcelles fournissant ce type de ressources (TYLIANAKIS et al., 2004; LUQUET, 2019). L'étude sur l'effet des plantes compagnes de l'essai sur alimentation glucidique des micro-hyménoptères est effectuée par l'Institut Agro Angers.

Voir rapport annuel de l'Institut Agro Angers pour les résultats d'analyses glucidiques

La disponibilité en ressources trophiques ne concerne pas seulement les hyménoptères, mais la totalité des auxiliaires, ce qui explique aussi les différences observées entre les deux bandes pour les staphylins.

Les Araneae sont quant à elles omniprésentes et comprennent plus des trois quarts des individus sur **B0** et la moitié pour **B1** (figure 23). Ces araignées sont des prédateurs à caractère

Tableau 3 : Répartition des différents auxiliaires identifiés en fonction de la bande

Classe et famille	B0	B1
Hymenoptera		
Braconidae	47 (47%)	100 (21%)
<i>Aphidius</i>	7 (7%)	16 (3%)
<i>Ephedrus</i>	7 (7%)	27 (6%)
Heteroptera		
Anthocoridae	26 (26%)	350 (73%)
Coleoptera		
Staphylinidae	19 (19%)	25 (5%)
Carabidae	7 (7%)	4 (1%)
Coccelinidae	2 (2%)	1 (0%)
Diptera		
Syrphidae	0 (0%)	0 (0%)
Total	101	480

généraliste (POLTURAT, 2016). Elles ne sont pas limitées par les ressources alimentaires « pucerons disponibles » et peuvent prospérer quelle que soit la modalité.

Ce qu'il faut retenir du suivi des auxiliaires par aspirations en 2022 :

- Il y a significativement plus d'auxiliaires en **B1** qu'en **B0** pour l'ensemble des auxiliaires aspirés.
- Dans le détail, seules les populations de punaises anthocorides et d'hyménoptères parasitoïdes des pucerons du blé sont significativement plus importante en **B1**.
- Il y a une très forte proportion d'araignées, peu importe la modalité concernée, en raison de son statut de prédateur généraliste.
- Ainsi, il semblerait que la modalité **B1 « blé + féverole »** favorise les auxiliaires de pucerons du blé en fournissant un abri (densité de couvert) et des ressources trophiques (nectar extrafloral et pucerons ayant pour hôte la plante compagne).

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

La campagne 2020-2021, première campagne de l'étude, a permis de dresser les premières tendances du projet ICIBA en ce qui concerne les populations de ravageurs et d'auxiliaires. L'association « blé + féverole » a diminué le nombre de pucerons et de cicadelles et a favorisé la présence de certains auxiliaires (punaises anthocorides et hyménoptères parasitoïdes des pucerons du blé des genres *Aphidius* et *Ephedrus*).

Les conditions météorologiques de la saison ont davantage influencé les populations de pucerons observées lors des notations visuelles que celles capturées sur pièges chromatiques. De manière générale, peu de pucerons ont été constatés. L'une des raisons pouvant être avancée concerne le semis tardif des plantes compagnes du fait des mauvaises conditions météorologiques. Pour les campagnes 2021-2022 et 2022-2023, l'effectif des plants de blé à observer lors des notations visuelles a été augmenté à 150 plants/bande (30 plants/placette) contre 100 plants/bande (20 plants/placette) pour la campagne 2020-2021.

D'autres réajustements de protocoles ont été effectués à l'occasion de cette campagne. La dernière notation visuelle et la dernière aspiration du 30 novembre n'ont pas été très intéressantes en matière d'informations collectées en raison des températures trop froides de fin d'automne. Pour les prochaines campagnes, le respect du calendrier et l'anticipation de la météo constituent des points de vigilance pour éviter des conditions d'observation défavorables en fin de saison. Le trop faible effectif d'insectes aspirés a conduit à des modifications de protocole pour les aspirations : à l'automne 2021, il n'y aura que deux dates

d'aspirations, mais un transect correspondra à 3 x 50 m (soit 150m pour une aspiration/bande) contre 2x40m sur trois dates en 2020.

Le tri des insectes étant long et délicat, le laboratoire de l'Institut Agro d'Angers a proposé de réaliser le tri des échantillons leur étant destinés. Les Araneae ne seront pas conservées pour les campagnes 2021-2022 et 2022-2023 à cause de leur trop grand effectif.

Certains essais s'étant montrés trop éloignés au sein d'un même département et dans un souci d'optimisation des déplacements, les emplacements des prochains essais seront davantage regroupés entre eux.

A l'issue de cette campagne, le pois de printemps et la vesce ont été sélectionnés pour être étudiés lors des deux prochaines campagnes. En plus d'une levée convenable en automne, le pois possède un pouvoir intéressant de concurrence des adventices. La vesce commune, comme la féverole, produit du nectar extrafloral. Ce seront donc trois modalités qui seront comparées au témoin blé seul pour la suite du projet.

REMERCIEMENTS

Nous remercions Maire-Pierre Dufresne pour l'encadrement de la mission ; Alice Boulanger, Emilie Massicard, Cédéric Emy, Etienne Blanchard, Sarah Belhaj, François Collin, Cyrielle Binon et Thierry Fanjas-Mercere pour leur engagement et leur expertise dans les suivis de terrain et/ou les analyses en laboratoire ; Lisa Folton et Gautier Hoellard (stagiaires M1 de l'Institut Agro) pour leur contribution à cette étude.

Nous remercions également les partenaires du projet ICIBA avec qui nous avons collaboré : la Chambre régionale d'agriculture Centre – Val de Loire (Céline Cervek, Thierry Bordin), le Laboratoire d'Eco-entomologie d'Orléans (Julie Leroy et Jean-David Chapelin-Viscardi), la FDGEDA 18 (Guillaume Houivet), la Chambre d'agriculture du Loiret (Nolwenn Périnel), la Chambre d'agriculture de l'Indre (Clémence Hermon, Charles Sagnier), la SCAEL (Julien Degas) et l'Institut Agro Angers (Bruno Jaloux).

BIBLIOGRAPHIE

- ARVALIS- Institut du végétal** (s.d.) Cicadelle vectrice de la maladie des pieds chetifs - *Psammotettix alienus*. Fiches Accident. - ARVALIS-Infosfr, http://www.fiches.arvalis-infos.fr/fiche_accident/fiches_accidents.php?mode=fa&type_cul=1&type_acc=3&id_acc=291
- BERSONNET C** (2016) Diagnostic région Centre Val de Loire Filière grandes cultures. 101. Disponible sur : https://www.cap-filieres.fr/fileadmin/user_upload/Centre-Val-de-Loire/149_Eve-Cap-Filieres/Grandes_cultures/Documents/GrandesCultures-Diagnostic.pdf
- BREVAULT T, BADIANE D, GOEBEL R, RENOU A, TERETA I, CLOUVEL P** (2019) Repenser la gestion des ravageurs du cotonnier en Afrique de l'Ouest. Cahiers Agricultures **28**: 8. DOI : 10.1051/cagri/2019024
- Chambre d'agriculture Nouvelle-Aquitaine** (2019) Bulletin de Santé du Végétal Nouvelle Aquitaine Grandes Cultures. 7
- CHEVALIER B** (2018) Cultiver du blé associé à une plante compagne : avec la féverole des effets positifs sur le rendement et la teneur en protéines. Chambres d'agriculture Centre-Val de Loire. Disponible sur : https://centre-valdeloire.chambres-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/Centre-Val-de-Loire/122_Inst-Centre-Val-de-Loire/Produire_Innover/Recherche_Innovation/IRD/Documents/GC/Leviers_agronomiques/2018/2018_Ble_associe_plante_compagne.pdf

- CORRE-HELLOU G, BEDOUSSAC L, BOUSSEAU D, CHAIGNE G, CHATAIGNER C, CELETTE F, COHAN J-P, COUTARD J-P, EMILE JC, FLORIOT M, FOISSY D, GUIBERT S, HEMPTINNE J-L, LE BRETON M, LECOMTE C, MARCEAU C, MAZOUÉ F, MEROT E, METIVIER T, MORAND P, NAUDIN C, OMON B, PAMBOU I, PELZER E, PRIEUR L, RAMBAUT G, TAUVEL O** (2013) Associations céréale-légumineuse multi-services. *Innovations Agronomiques* **30**: 41–57
- DECARRIER A, DE REKENEIRE J, FRANCHE M** (2022) Céréales : c'est le moment d'être à l'affût des pucerons et cicadelles. ARVALIS, <https://www.arvalis.fr/infos-techniques/cereales-cest-le-moment-detre-laffut-des-pucerons-et-cicadelles>
- FranceAgriMer** (2022) Fiche filière - blé tendre. Disponible sur : <https://www.franceagrimer.fr/fam/content/download/68237/document/FICHE%20FILIERE%20BLE%20TENDRE%202022.pdf?version=4#:~:text=En%202020%2C%2029%2C%20Mt,surface%20de%204%2C3%20Mha>
- FranceAgriMer** (2021) Marché des céréales | Campagne 2020-2021. Disponible sur : <https://www.franceagrimer.fr/fam/content/download/68316/document/SYN-CER-revueMDC-C20-21-M2.pdf?version=1>
- HUGONNET M, BERNARD-MONGIN C** (2022) Géographie environnementale du système alimentaire français : tendances et perspectives d'évolution. Disponible sur : <https://agreste.agriculture.gouv.fr/agreste-web/disaron/DOC-CEP16/detail/>
- INSEE** (2021) Identité agricole des régions – La France et ses territoires. INSEE - Institut National Statistiques des Études Économiques, <https://www.insee.fr/fr/statistiques/5039859?sommaire=5040030>
- LUQUET M** (2019) Relation entre diversité et exploitation de ressources : exemple des parasitoïdes *Aphidius* dans des associations de cultures. Thèse. Agrocampus Ouest Angers. Disponible sur : <https://theses.hal.science/tel-03610462>
- NIYIBIZI GAKURU P** (2020) Associations végétales pour le contrôle des ravageurs : d'une synthèse des approches théoriques à l'application pratique. Université de Liège, Belgique. Disponible sur : <https://matheo.uliege.be/handle/2268.2/10897>
- NOËL Y** (2015) Modèles linéaires généralisés à effets fixes et aléatoires de la variabilité inter et intra-individuelle. *In* J JUHEL, G ROUXEL, eds, Différences et variabilités en psychologie. Presses universitaires de Rennes, Rennes, pp 237–263
- POLTURAT B** (2016) Préférences alimentaires des araignées : prédation des ravageurs et prédation intra-gilde en verger de pommiers. Mémoire de fin d'études. Agrocampus Ouest. Disponible sur : <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01481108/document>
- TYLIANAKIS JM, DIDHAM RK, WRATTEN SD** (2004) Improved Fitness of Aphid Parasitoids Receiving Resource Subsidies. *Ecology* **85**: 658–666. DOI 10.1890/03-0222

ANNEXES

Annexe 1 : Critères d'identification des cicadelles *Psammotettix alienus*

Annexe 2 : Critères d'identification des pucerons du blé et des plantes compagnes

Annexe 3 : Décalage du vol des cicadelles et des pucerons d'une campagne à l'autre

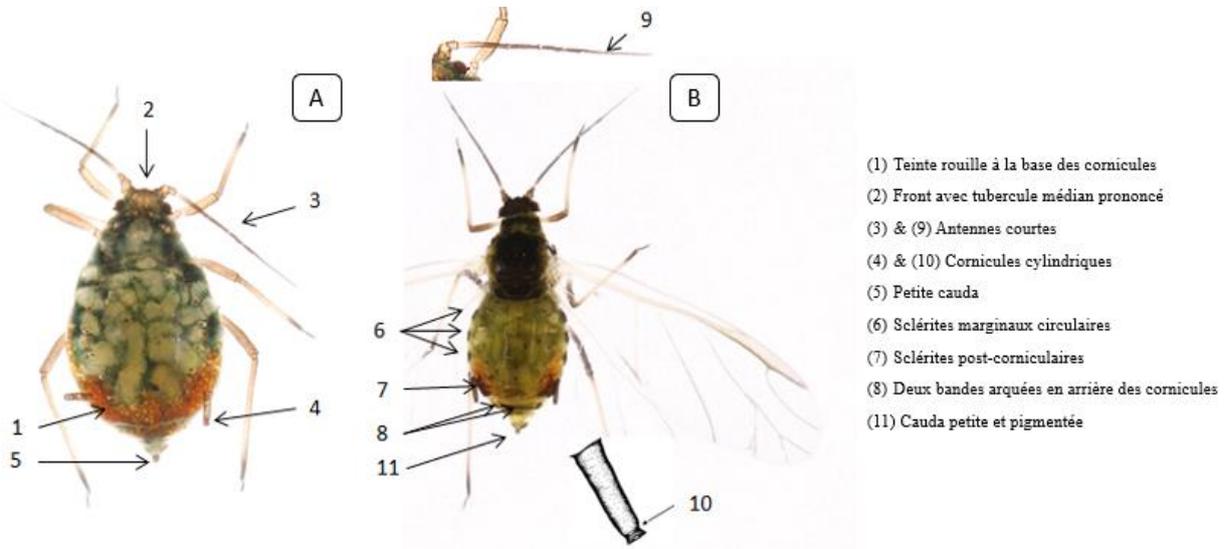
Annexe 1 : Critères d'identification des cicadelles *Psammotettix alienus* (Source : FREDON CVL)



Annexe 2 : Critères d'identification des pucerons du blé et des plantes compagnes
 (Source : Encyclop'aphid INRAE, 2013)

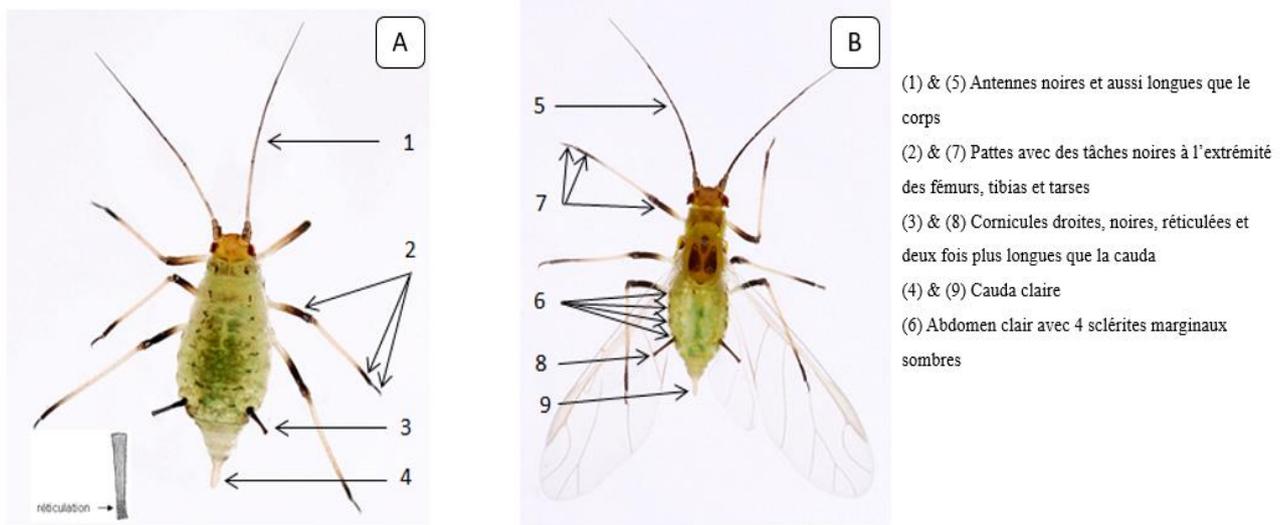
Pucerons du blé

Rhopalosiphum padi aptères (A) et ailé (B)



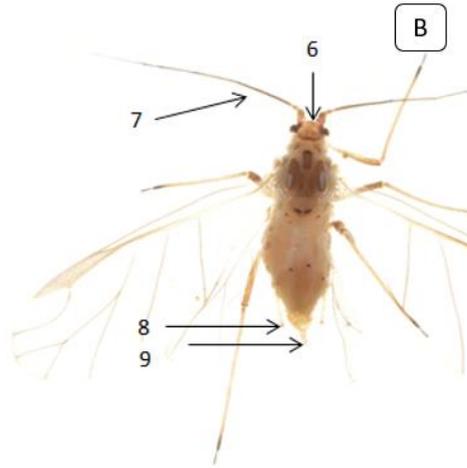
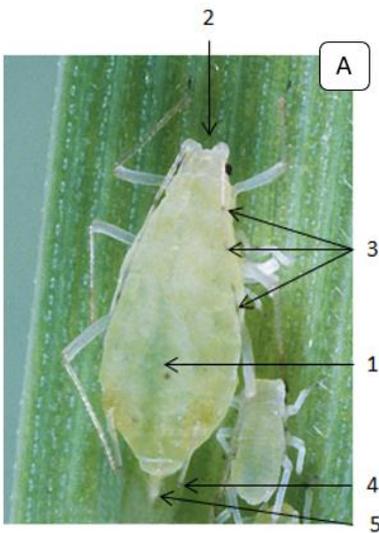
- (1) Teinte rouille à la base des cornicules
- (2) Front avec tubercule médian prononcé
- (3) & (9) Antennes courtes
- (4) & (10) Cornicules cylindriques
- (5) Petite cauda
- (6) Sclérites marginaux circulaires
- (7) Sclérites post-corniculaires
- (8) Deux bandes arquées en arrière des cornicules
- (11) Cauda petite et pigmentée

Sitobion avenae aptères (A) et ailé (B)



- (1) & (5) Antennes noires et aussi longues que le corps
- (2) & (7) Pattes avec des tâches noires à l'extrémité des fémurs, tibias et tarsi
- (3) & (8) Cornicules droites, noires, réticulées et deux fois plus longues que la cauda
- (4) & (9) Cauda claire
- (6) Abdomen clair avec 4 sclérites marginaux sombres

Metopolophium dirhodum aptères (A) et ailé (B)



- (1) Ligne longitudinale foncée
- (2) & (6) Front en « U » à bords parallèles et avec un tubercule médient
- (3) Antennes sombres avec articulations des articles et à l'apex
- (4) & (8) Cornicules longues, droites et claires avec l'extrémité légèrement pigmentée
- (5) & (9) Cauda digitée et claire
- (7) Antennes moyennement pigmentées

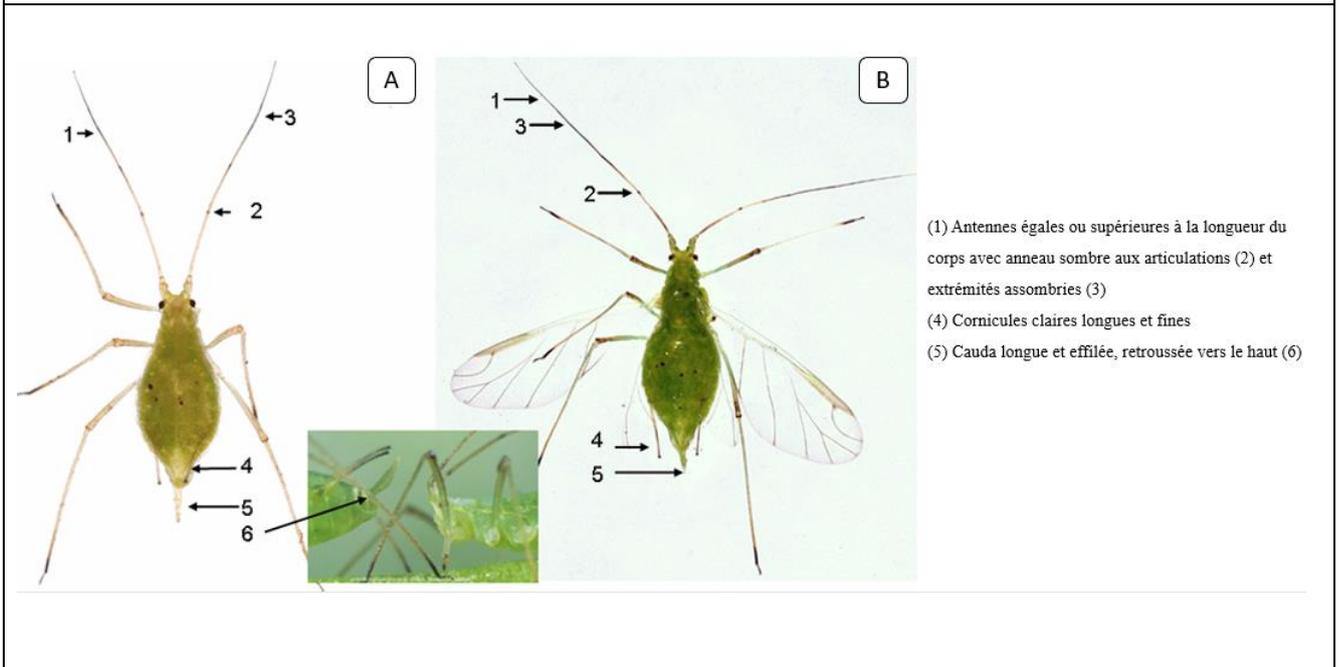
Pucerons des plantes compagnes

Megoura viciae aptères (A) et ailé (B)

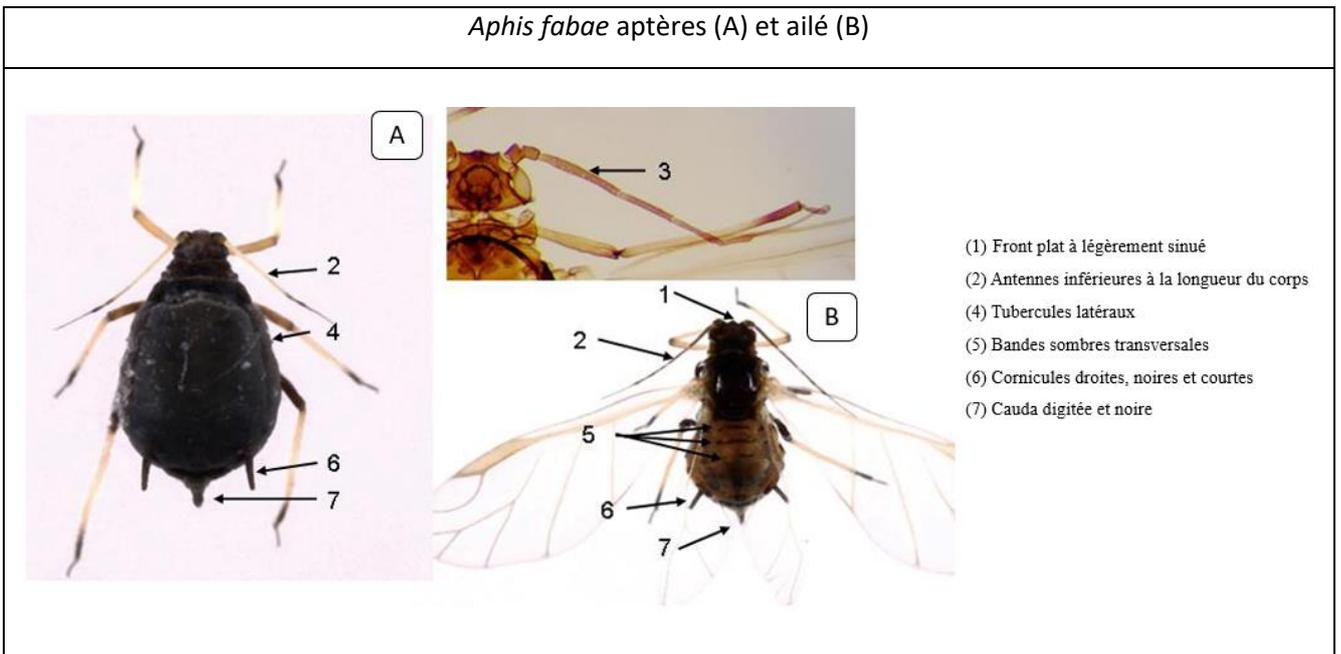


- (1) Tête noire et yeux rouges
- (2) & (3) Antennes noires de la longueur du corps
- (5) Abdomen vert avec sclérites marginaux noirs
- (6) Cornicules longues, noires et légèrement renflées
- (7) Cauda longue et noire

Acyrtosiphon pisum aptères (A) et ailé (B)

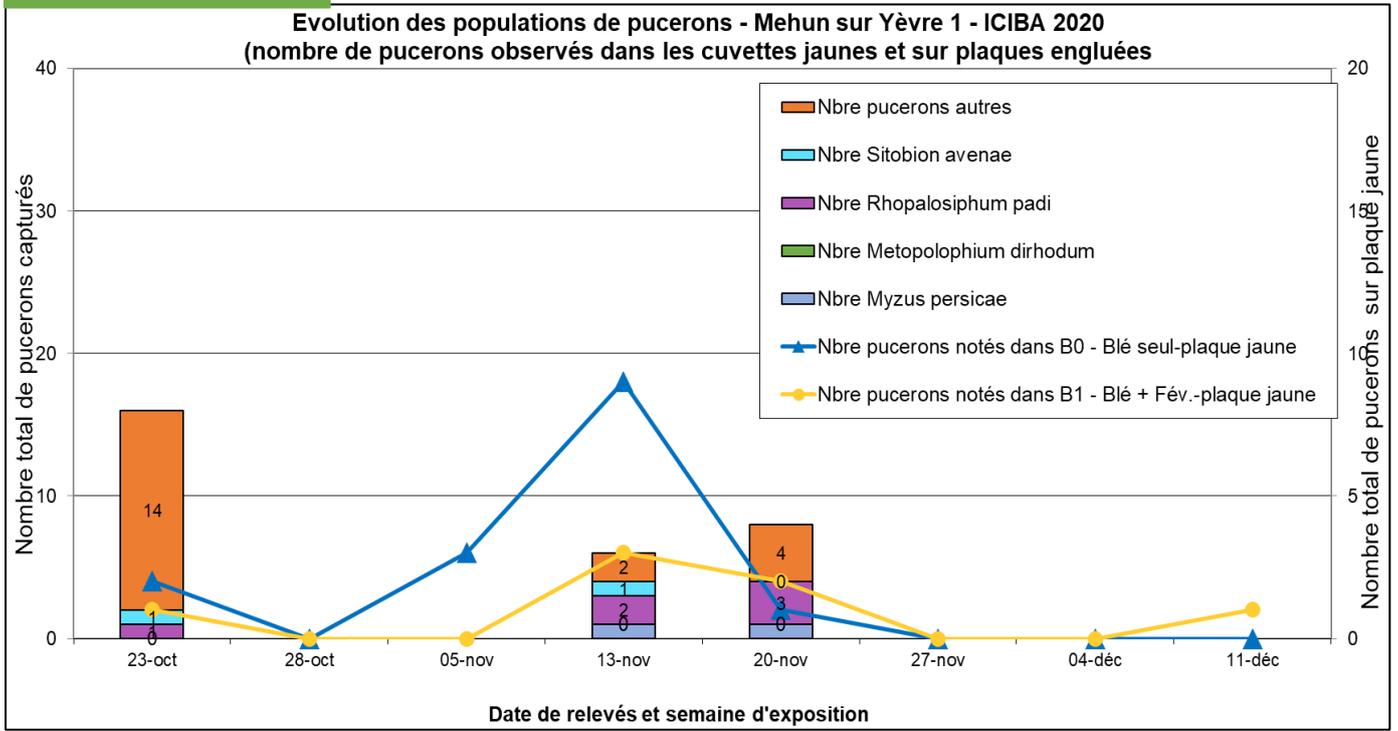


Aphis fabae aptères (A) et ailé (B)

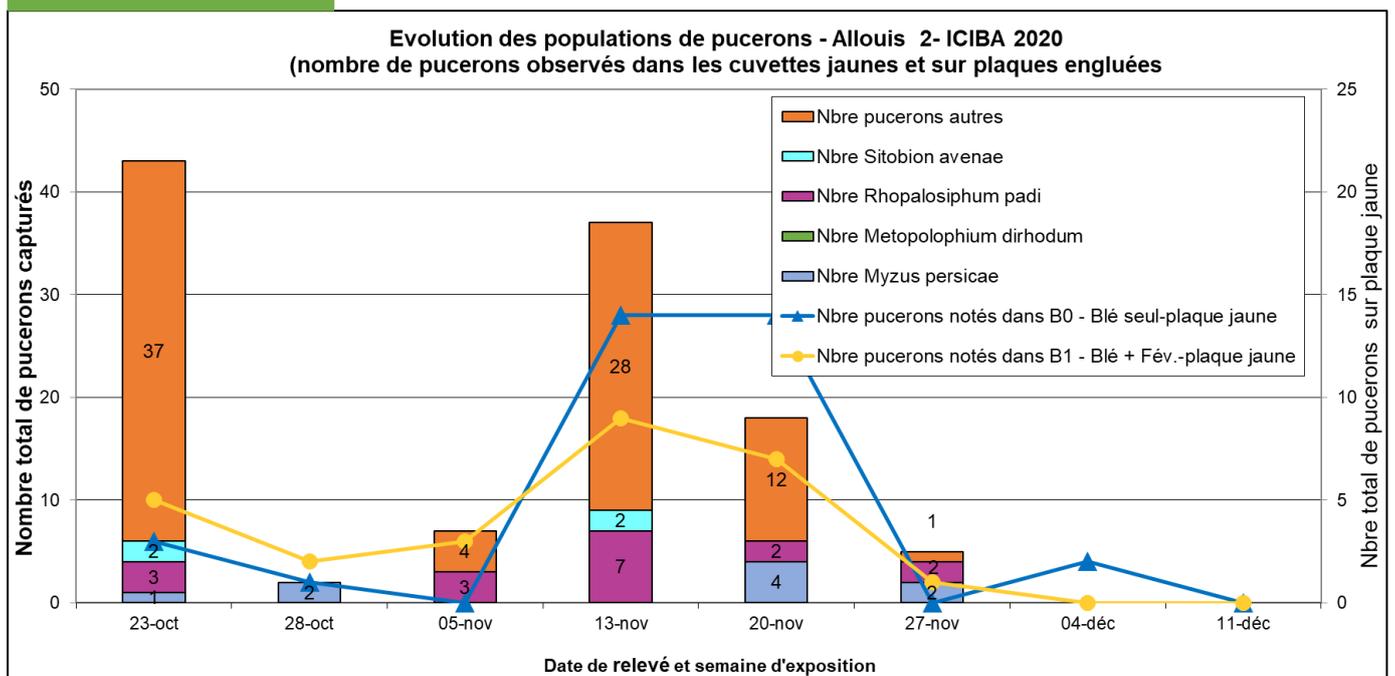


Annexe 3 : Evolution des populations de pucerons de chaque site et relevé météorologique correspondant

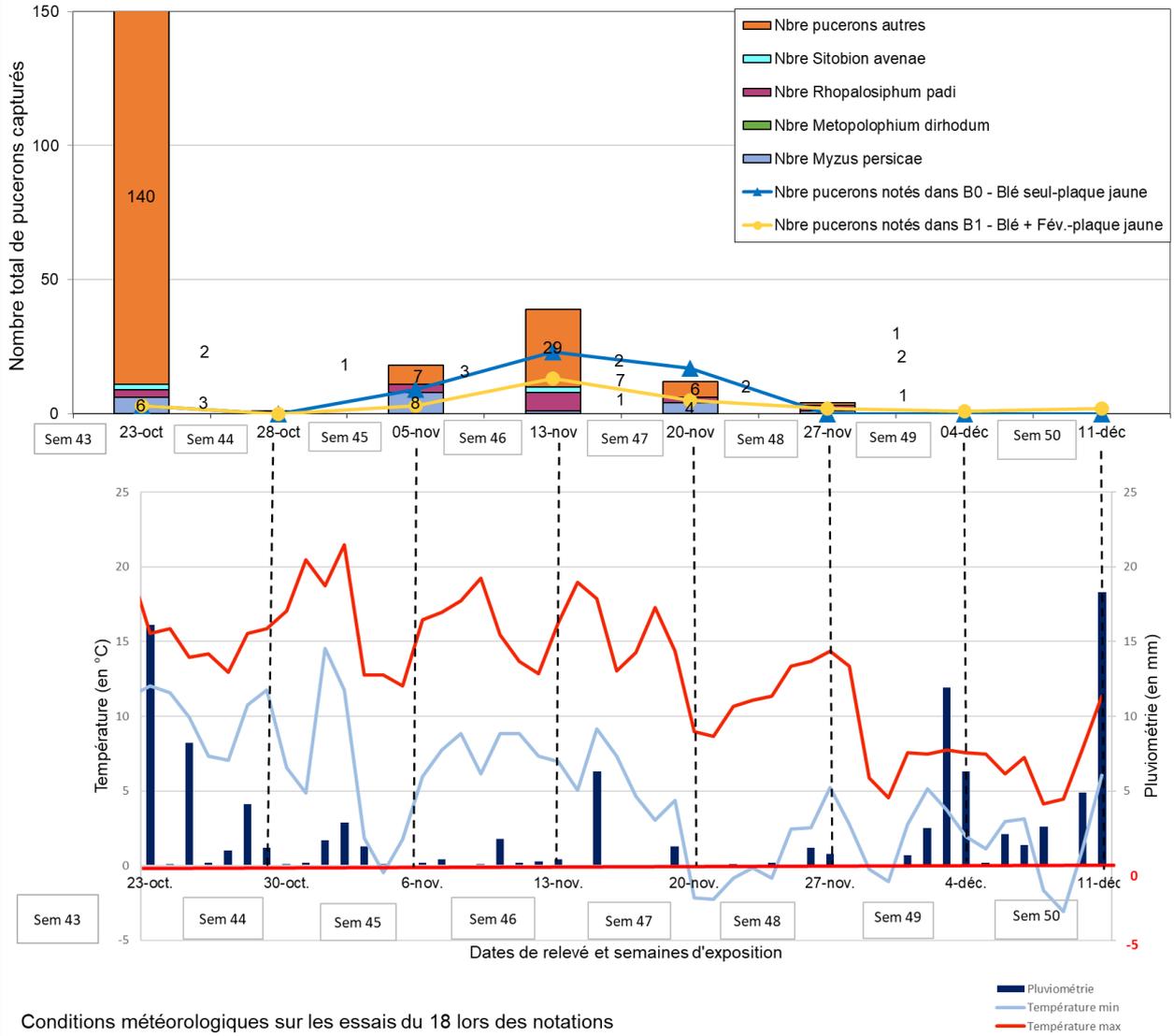
Département du 18



Département du 18

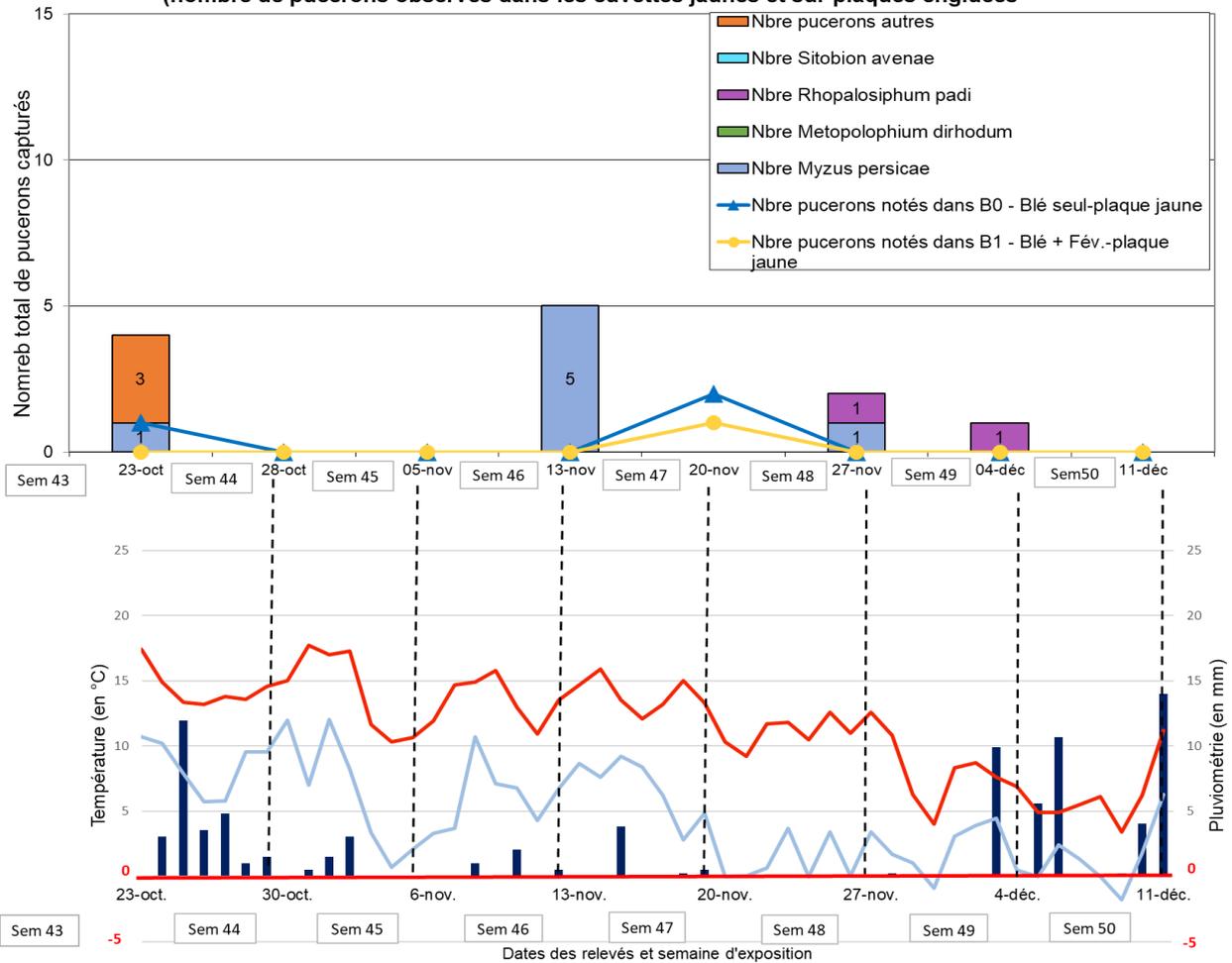


Evolution des populations de pucerons - Allouis 3- ICIBA 2020
(nombre de pucerons observés dans les cuvettes jaunes et sur plaques engluées)



Conditions météorologiques sur les essais du 18 lors des notations

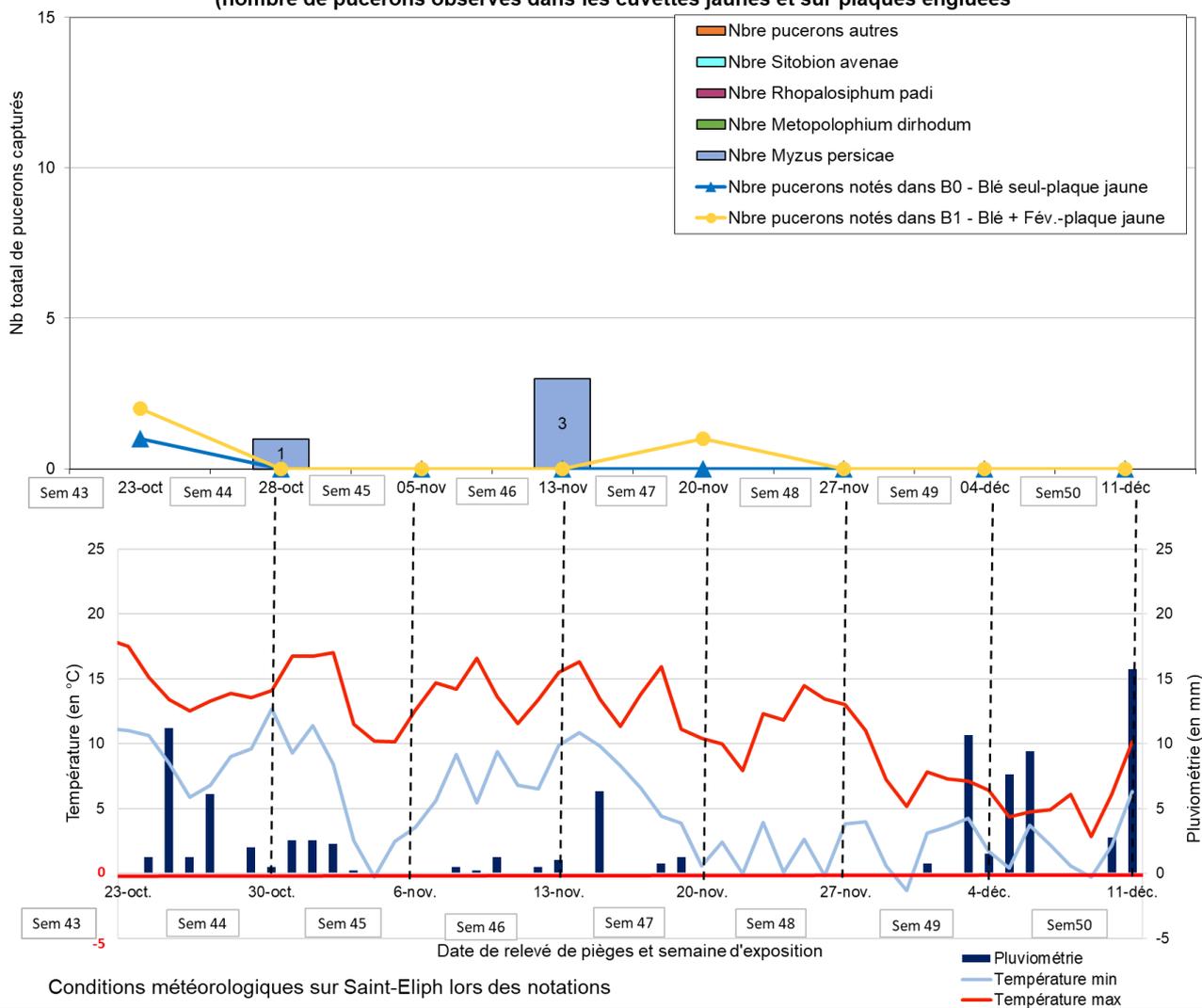
Evolution des populations de pucerons - Logron 4 - ICIBA 2020
(nombre de pucerons observés dans les cuvettes jaunes et sur plaques engluées)



Conditions météorologiques sur Logron lors des notations

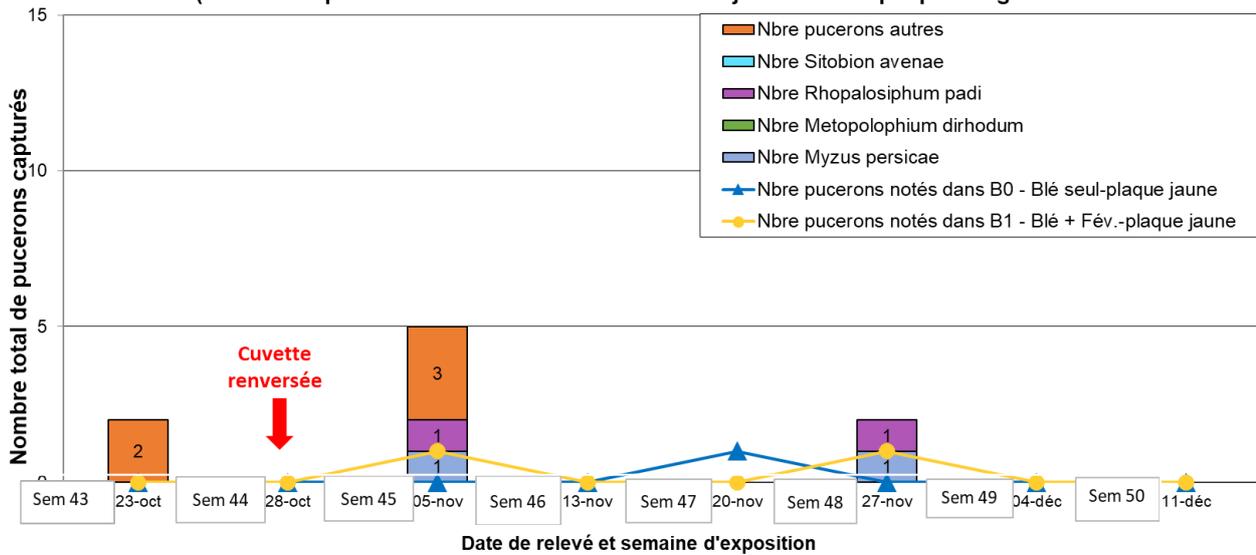
Pluviométrie
Température min
Température max

Evolution des populations de pucerons - St Eliph 5 - ICIBA 2020
 (nombre de pucerons observés dans les cuvettes jaunes et sur plaques engluées)



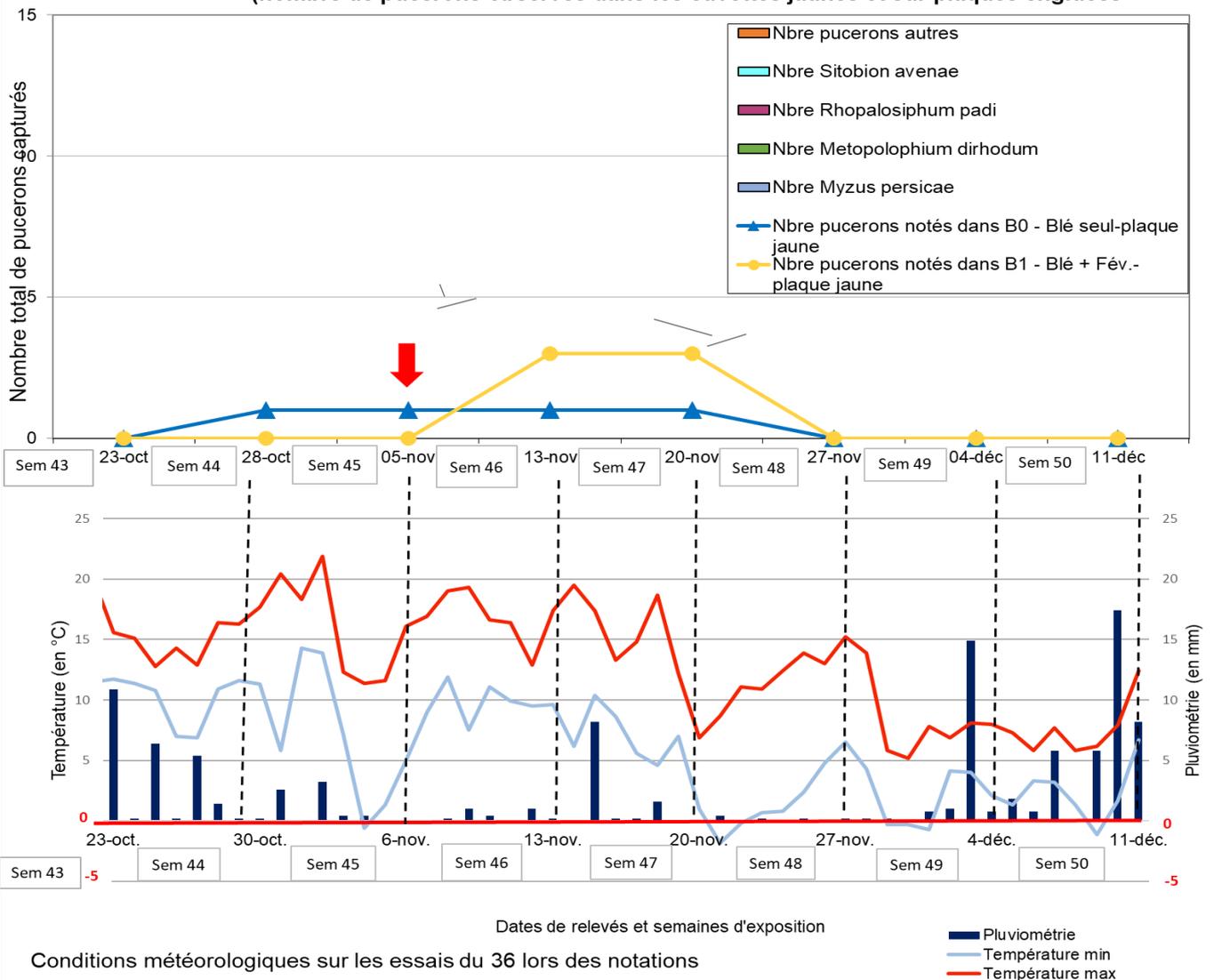
Département du 36

Evolution des populations de pucerons - Bouges Le Ch. 6 - ICIBA 2020
(nombre de pucerons observés dans les cuvettes jaunes et sur plaques engluées)



Département du 36

Evolution des populations de pucerons - Liniez 7 - ICIBA 2020
(nombre de pucerons observés dans les cuvettes jaunes et sur plaques engluées)



Evolution des populations de pucerons - Chuelles 10 "Les Lucas" - ICIBA 2020
(nombre de pucerons observés dans les cuvettes jaunes et sur plaques engluées)

