



LABORATOIRE D'ECO-ENTOMOLOGIE

5, rue Antoine Mariotte

F-45000 ORLEANS

contact@laboratoireecoentomologie.com

Tel : 09.54.69.24.14 / 06.85.55.87.21

Etude de la faune terricole Projet ICIBA (Intérêts des Cultures Innovantes de Blé Associé)

Année 2021



Julie LEROY et Jean-David CHAPELIN-VISCARDI

MARS 2023

Avec la contribution financière du compte d'affectation spéciale développement agricole et rural CASDAR



l'institut Agro

agriculture - innovation - environnement



Etude de la faune terricole

Projet ICIBA (Intérêts des Cultures Innovantes de Blé Associé)

Année 2021

Référence :

LEROY J. & CHAPELIN-VISCARDI J.-D., 2023. – *Etude de la faune terricole. Projet ICIBA (Intérêts des Cultures Innovantes de Blé Associé). Année 2021*. Rapport du Laboratoire d'Eco-Entomologie, 37 p.

Photo de couverture :

- Une parcelle en couvert blé-féverole dans le 45, suivie en 2021 (19 novembre) (cliché CA 45).
- *Nebria salina*, carabe présent sur l'exploitation (cliché J.-D. Chapelin-Viscardi).

Ce document est un rapport d'étude. Il n'est, en aucun cas, reconnu comme une publication scientifique. Les informations et données contenues dans ce rapport sont la propriété du Laboratoire d'Eco-Entomologie et des partenaires du projet. Elles ne peuvent être utilisées ou diffusées sans l'accord préalable des propriétaires.

Sommaire

LE LABORATOIRE D'ECO-ENTOMOLOGIE	3
INTRODUCTION	4
CONTEXTE ET SECTEUR D'ETUDE	5
MATERIELS ET METHODES	7
Relevés de terrain 2021	7
Analyses en laboratoire	8
Analyses des données	9
RÉSULTATS ET DISCUSSION.....	9
Résultats généraux	9
Les communautés de Carabes	10
Résultats par parcelle	12
Effet des cultures associées blé – féverole sur la faune terricole	12
Effet des cultures associées blé – féverole dans le 28.....	13
Effet des cultures associées blé – féverole dans le 45.....	16
Effet des cultures associées blé – féverole dans le 18.....	21
Effet des cultures associées blé – féverole dans le 36.....	26
Discussion	30
CONCLUSION ET PERSPECTIVES	32
REMERCIEMENTS	32
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	33
ANNEXES	34

LE LABORATOIRE D'ECO-ENTOMOLOGIE

Le Laboratoire d'Eco-Entomologie est un laboratoire privé situé à Orléans, composé d'entomologistes professionnels et d'un réseau de spécialistes. C'est une structure scientifique et un établissement d'accompagnement des instituts de recherche publics et privés ou de bureaux d'études dans l'analyse de leurs échantillons, prélevés dans le cadre de protocoles scientifiques, d'inventaires faunistiques...

Les entomologistes réalisent également des expertises agro-écologiques de sites pour des exploitants agricoles, des collectivités territoriales, des chambres d'agriculture ou des instituts techniques. C'est dans ce cadre que s'inscrit la présente étude.

La valorisation des études et la diffusion des connaissances sont assurées par la publication d'articles scientifiques et la dispense de formations ou de conférences.

L'ensemble de nos activités contribue à mieux connaître et faire connaître les insectes dans leurs milieux. Régulièrement, des travaux de synthèse sur les connaissances de la biodiversité départementale ou régionale sont entrepris.

Le Laboratoire dispose d'une riche bibliographie (environ 14 000 titres), d'une collection de référence fournie (environ 32 000 spécimens) ainsi qu'une base de données entomologiques importante (plus d'un million d'individus renseignés).

Les activités et les références des productions du laboratoire sont consultables sur notre site internet (www.laboratoireecoentomologie.com) (Figure 1). Les actualités sont régulièrement mises à jour sur la page Facebook du laboratoire : <https://www.facebook.com/laboeoentomo>.

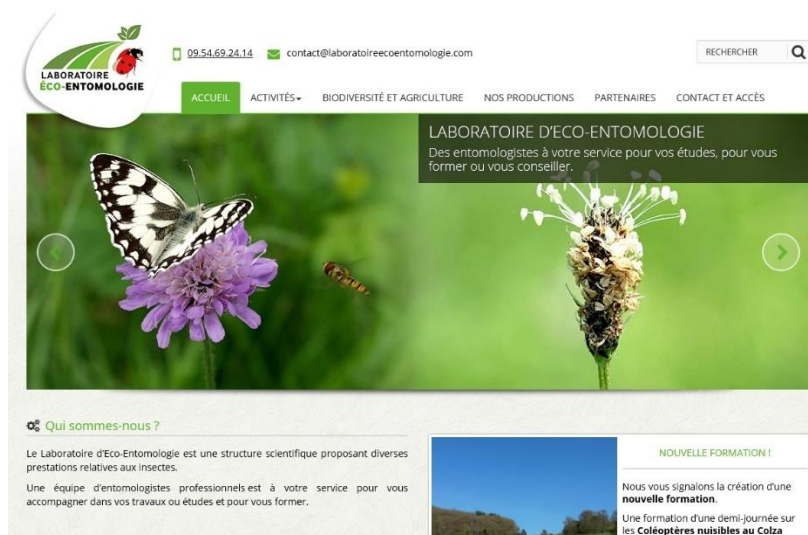


Figure 1. Page d'accueil du site internet du Laboratoire d'Eco-Entomologie.

INTRODUCTION

Le Laboratoire d'Eco-Entomologie a été sollicité par la Chambre régionale d'Agriculture pour réaliser l'analyse de la faune terricole collectée dans un réseau de parcelles agricoles des départements du Loiret, d'Eure-et-Loir, du Cher et de l'Indre dans le cadre du projet ICIBA.

L'étude a pour objectifs de fournir des éléments de connaissance de la faune terricole présente dans les parcelles, de mettre en évidence des informations agro-écologiques en lien avec les pratiques culturales (cultures de blé avec ou sans plantes compagnes à l'automne). L'étude concerne en particulier les Coléoptères Carabidés, mais les Coléoptères Staphylinidés, les Opilions et les Araignées seront également intégrés aux analyses.

Les Carabidés (Figure 2) forment une des familles de Coléoptères les plus diversifiées avec près de 1 100 espèces en France (COULON *et al.*, 2011). Ce sont des insectes couramment étudiés en milieu agricole pour leur potentiel entomophage et malacophage. Ces organismes sont, pour une large part, des prédateurs à l'état adulte. De plus, la grande majorité des espèces sont prédatrices ou parasitoïdes terricoles à l'état larvaire (LAROCHELLE, 1990 ; SASKA & HONEK, 2004 ; KOTZE *et al.*, 2011). Ils constituent de bons auxiliaires des cultures du fait de leur omniprésence dans les agrosystèmes et de leur action de régulation naturelle des organismes nuisibles, tels les limaces ou les pucerons (SCHELLER, 1984 ; DAJOZ, 1989 ; KROMP, 1999 ; BOYER *et al.*, 2017).

Leur écologie est bien connue, l'identification est relativement aisée et leur capacité de colonisation des milieux récents est importante. Ils sont de bons indicateurs de l'évolution des habitats (GEORGES, 2004) et la réponse des Carabidés à une perturbation est considérée représentative de celle de l'ensemble des arthropodes du milieu (BULAN & BARRETT, 1971). Ce sont donc de bons indicateurs de biodiversité, utilisés dans les études sur l'effet des aménagements extra-parcellaires (bandes enherbées, haies, etc.) et des pratiques culturales (MILLAN DE LA PENA, 2003 ; RAINIO & NIEMELA, 2003 ; KOTZE *et al.*, 2011).

Cette étude a pour vocation de s'intéresser également aux Araignées et aux Opilions, arthropodes prédateurs opportunistes et aux Coléoptères Staphylinidés (ou Staphylins), prédateurs opportunistes pour la plupart, mais également parasites ou détritivores. Ces trois autres groupes d'arthropodes terricoles sont considérés, dans leur globalité, comme des auxiliaires de cultures (BOYER *et al.*, 2017).



Figure 2. *Pterostichus melanarius* est un consommateur de limaces (cliché A. Rouabah, INRA Nancy).

CONTEXTE ET SECTEUR D'ETUDE

Le secteur concerné par cette étude est la région Centre-Val de Loire, et notamment les départements du Loiret, d'Eure-et-Loir, du Cher et de l'Indre. Le blé est une culture majeure en France et en région Centre-Val de Loire notamment, pour laquelle il représente la première production régionale. Or, la culture de blé nécessite l'utilisation d'intrants chimiques ayant un impact sur l'environnement. Conjugué à l'interdiction de certains traitements depuis 2018, cette culture se retrouve fortement impactée par les insectes d'automne. Il est donc important de trouver des solutions alternatives et respectueuses de l'environnement, dont l'utilisation de plantes compagnes d'automne, pour maintenir la production. C'est dans ce contexte que s'inscrit la présente étude.

Les parcelles de blé suivies cette année sont au nombre de 8. Deux parcelles dans le Cher (18), une parcelle dans l'Eure-et-Loir (28), deux parcelles dans l'Indre (36) et trois parcelles dans le Loiret (45) (Figures 3 et 4a, b, c ; Tableau I). Les parcelles de blé présentent deux modalités en leur sein : une bande de blé pur (B0), une bande de blé + culture associée (B1: blé+féverole ; B2: blé+pois ; B3: blé+vesce). Les parcelles ont toutes vu leur sol être travaillé.

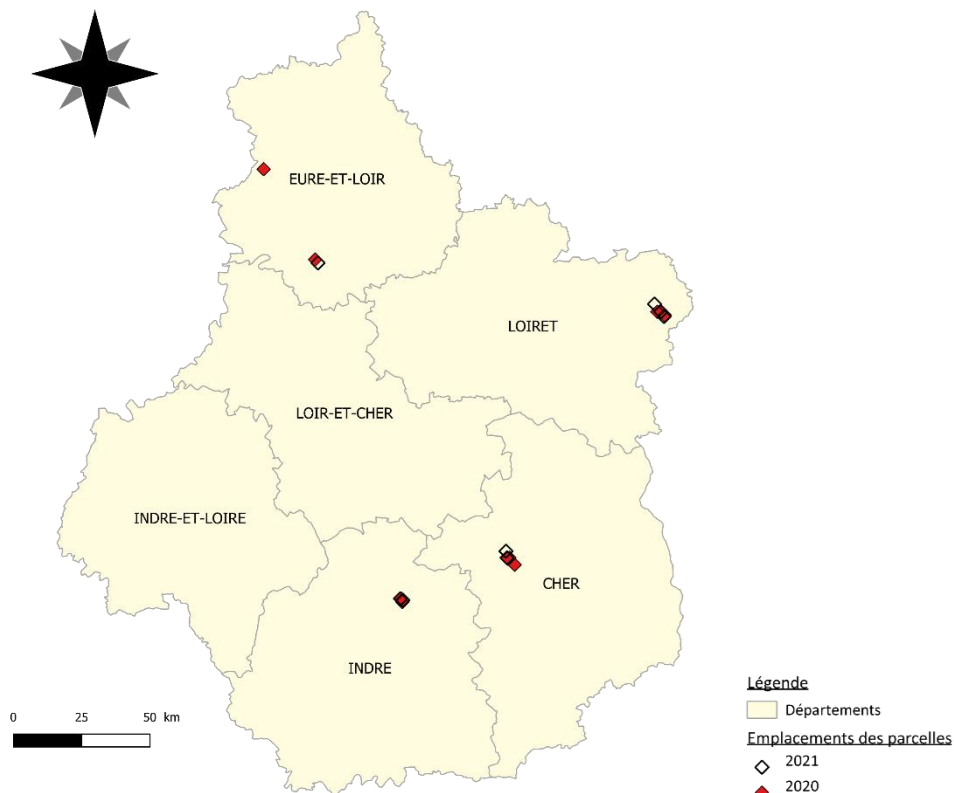


Figure 3. Emplacement des parcelles de blé suivies en 2020 et 2021 (conception cartographie J. Leroy (LEE)).

Tableau I. Caractéristiques des parcelles suivies en 2021 et dates de suivi.

ORDRE SITE	DEPARTEMENT	COMMUNE	CULTURE	DATES DE SUIVI	NOTE COUVERTURE B1
1	18	ALLOUIS	Blé (BO) et Blé + culture associée (B1/B2/B3)	15/10/2021-12/11/2021	B0 : 0/10 B1 : 8/10 B2 : 4/10 B3 : 2/10
2	18	ALLOUIS	Blé (BO) et Blé + culture associée (B1/B2/B3)	15/10/2021-12/11/2021	B0 : 0/10 B1 : 7/10 B2 : 5/10 B3 : 1/10
4	28	LOGRON	Blé (BO) et Blé + culture associée (B1/B2/B3)	15/10/2021-12/11/2021	B0 : 0/10 B1 : 7/10 B2 : 4/10 B3 : 3/10
6	36	BOUGES LE CHÂTEAU	Blé (BO) et Blé + culture associée (B1/B2/B3)	14/10/2021-15/11/2021	B0 : 0/10 B1 : 6/10 B2 : 3/10 B3 : 0/10
7	36	LINIEZ	Blé (BO) et Blé + culture associée (B1/B2/B3)	14/10/2021-15/11/2021	B0 : 0/10 B1 : 3/10 B2 : 3/10 B3 : 0/10
8	45	TRIGUERES	Blé (BO) et Blé + culture associée (B1/B2/B3)	22/10/2021-19/11/2020	B0 : 0/10 B1 : 5/10 B2 : - B3 : -
9	45	CHUELLES	Blé (BO) et Blé + culture associée (B1/B2/B3)	22/10/2021-19/11/2020	B0 : 0/10 B1 : 7/10 B2 : 4/10 B3 : 1/10
10	45	CHUELLES	Blé (BO) et Blé + culture associée (B1/B2/B3)	22/10/2021-19/11/2020	B0 : 0/10 B1 : 10/10 B2 : 3/10 B3 : 2/10

MATÉRIELS ET METHODES

Relevés de terrain 2021

Les Coléoptères Carabidés, les Araignées, les Opilions et les Staphylinins sont, pour majorité, terricoles. Ils évoluent donc au niveau du sol et ont une activité diurne ou nocturne. Ils peuvent rester cachés une partie de la journée dans la litière, au pied des végétaux, dans la terre ou sous les pierres.

Un des meilleurs moyens pour étudier et suivre ces insectes est d'utiliser des pièges au sol. Ceux-ci sont de type Barber (BARBER, 1931) et permettent de capturer les espèces évoluant au sol de manière aléatoire, car ils sont non attractifs (Figure 4).

Les 8 parcelles choisies, contenant chacune une bande de blé témoin (B0) et une bande de blé + culture associée (B1: blé+féverolle ; B2: blé+pois ; B3: blé+vesce), ont été suivies de la manière suivante. Une ligne de quatre pièges a été placée au centre de chaque bande. Au moins 10 mètres séparent chaque piège au sein d'une ligne (Figure 5). Les caractéristiques des parcelles sont fournies dans le Tableau I.

Les pièges ont été mis en place par le personnel des Chambres d'Agriculture de chaque département concerné et la SCAEL pour l'Eure-et-Loir entre le 14 et le 22 octobre, juste après les semis et retirés entre le 12 et le 19 novembre 2021, au terme de 4 semaines de piégeage. Les pièges ont fait l'objet d'un relevé hebdomadaire. Un récapitulatif du dispositif est proposé dans le Tableau I.

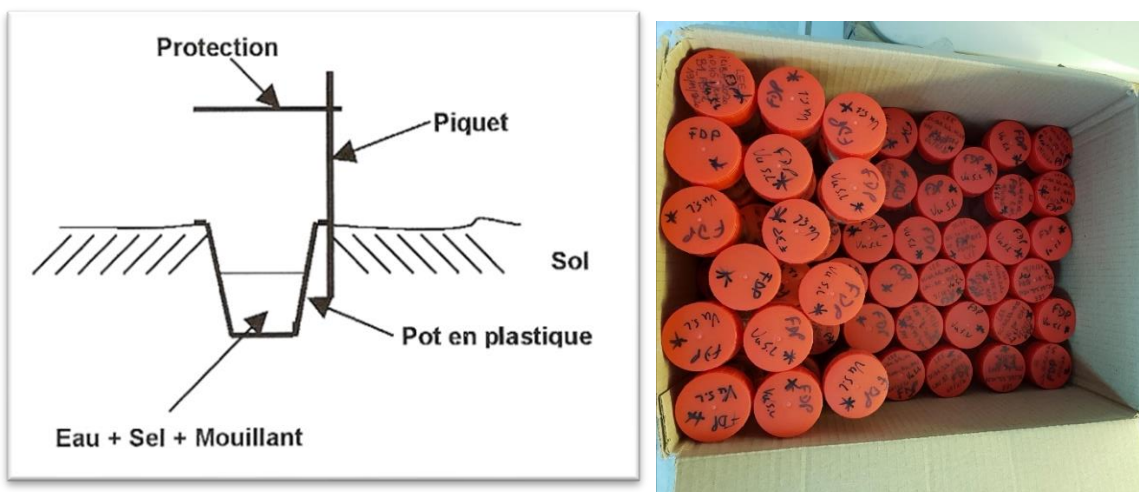


Figure 4. Gauche : schéma du piège au sol de type Barber, d'après BOUT *et al.* (2006). Droite : échantillons collectés par l'emploi de pièges Barber, conditionnés pour analyse au laboratoire (cliché F. Gagnepain-Germain).

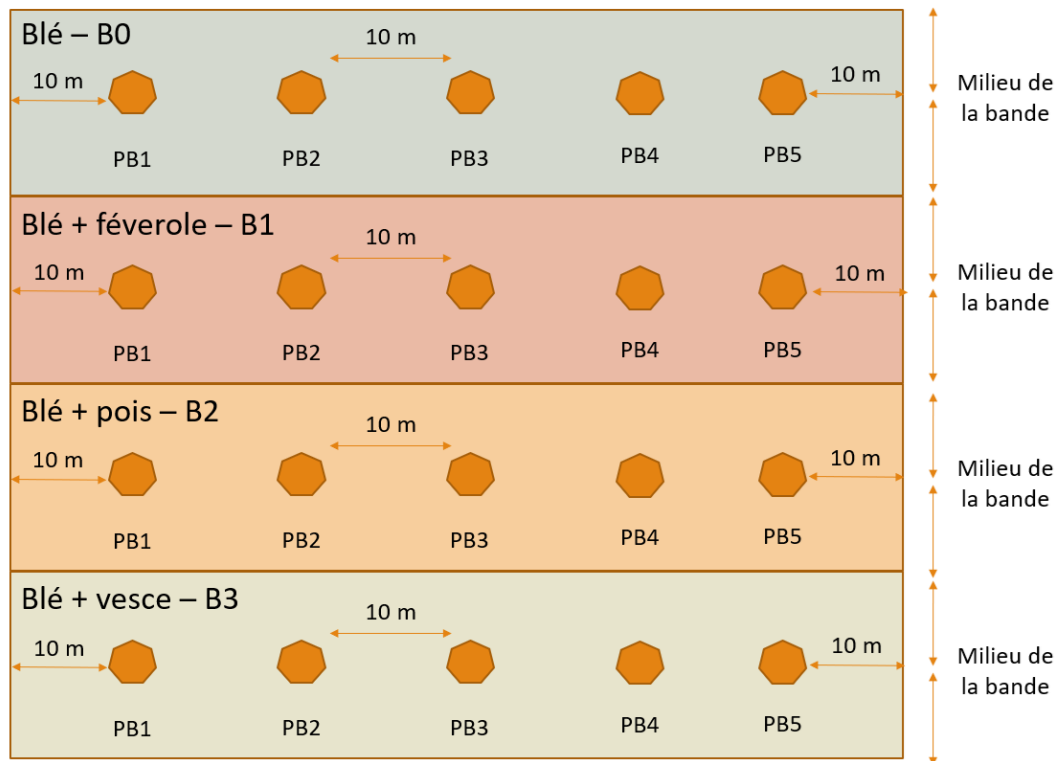


Figure 5. Schéma du dispositif expérimental.

Analyses en laboratoire

Les échantillons collectés durant l'étude ont tous été analysés (Figure 6). Un tri, un comptage et une détermination au plus haut rang taxonomique ont été effectués. Pour cela, nous avons eu recours aux clés de détermination disponibles dans la littérature et nous avons effectué une comparaison avec du matériel de référence contenu dans les collections du Laboratoire (Figure 6).



Figure 6. Gauche : analyse sous loupe binoculaire. Droite : une collection de référence de Carabidés (clichés J.-D. Chapelin-Viscardi).

Analyses des données

Les analyses du jeu de données, en fonction du type de culture (blé seul ou blé + culture associée (féverole ou pois ou vesce), seront réalisées en considérant certains facteurs comme nuls ou peu influents : le climat (celui-ci est identique au sein de chaque secteur étudié), l'effet des aménagements périphériques, l'historique des parcelles (cultures et itinéraires techniques), le succès de développement de la plante compagne, le type de sol, les dates de semis de la culture, etc.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Résultats généraux

Cette saison, **10 373 arthropodes** ont été collectés et étudiés. Parmi ces spécimens, 633 étaient des Araignées, 6 647 des Carabidés, 161 des Staphylins et 2 932 des Opilions.

La distribution des effectifs moyens par parcelles est présentée en Figure 7. Les évolutions observées au cours du temps, peuvent être liées aux phénologies des espèces, à des pratiques agricoles, mais également aux conditions météorologiques. De plus, il est important de relever que les taxons évoluent différemment au cours du temps.

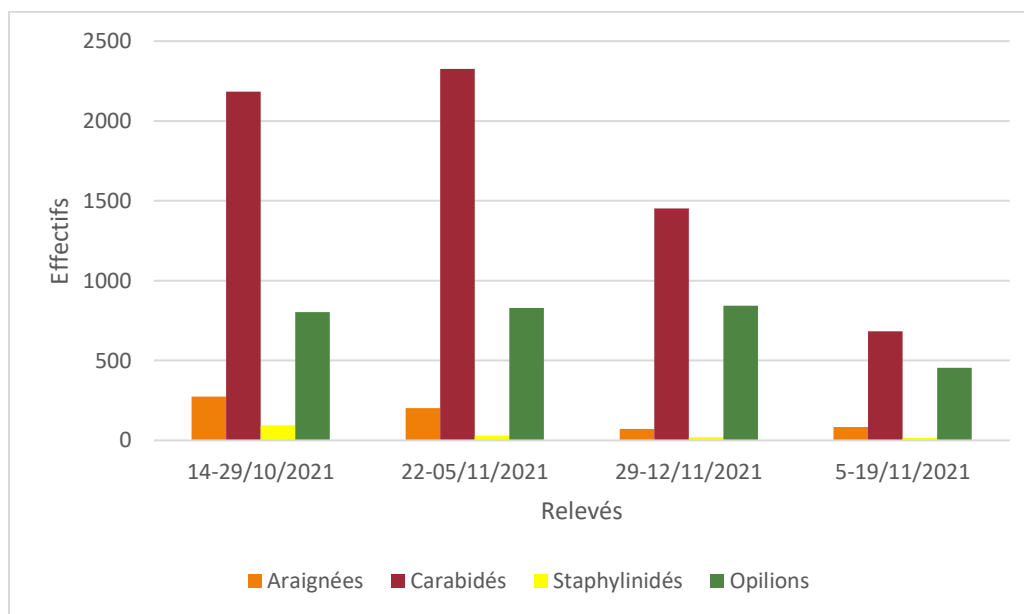


Figure 7. Évolution des effectifs moyens de Carabes, Staphylins, Opilions et Araignées durant la période de suivi (N = 633 araignées, 6 647 Carabes, 161 Staphylins et 2 932 Opilions).

Les Carabidés, insectes ciblés par l'étude, sont les mieux représentés. Si l'on s'intéresse au recrutement des espèces au cours de la saison (Figure 8), on s'aperçoit que la courbe d'accumulation n'atteint pas encore de saturation, ce qui permet de dire que l'échantillonnage des

espèces n'est pas satisfaisant pour les parcelles concernées et la saison étudiée. Une semaine de relevés complémentaires aurait peut-être pu permettre l'obtention de la saturation.

Toutefois, le nombre d'individus collectés étant supérieur à 3 000, il est alors envisageable de faire par la suite une analyse globale des communautés rencontrées.

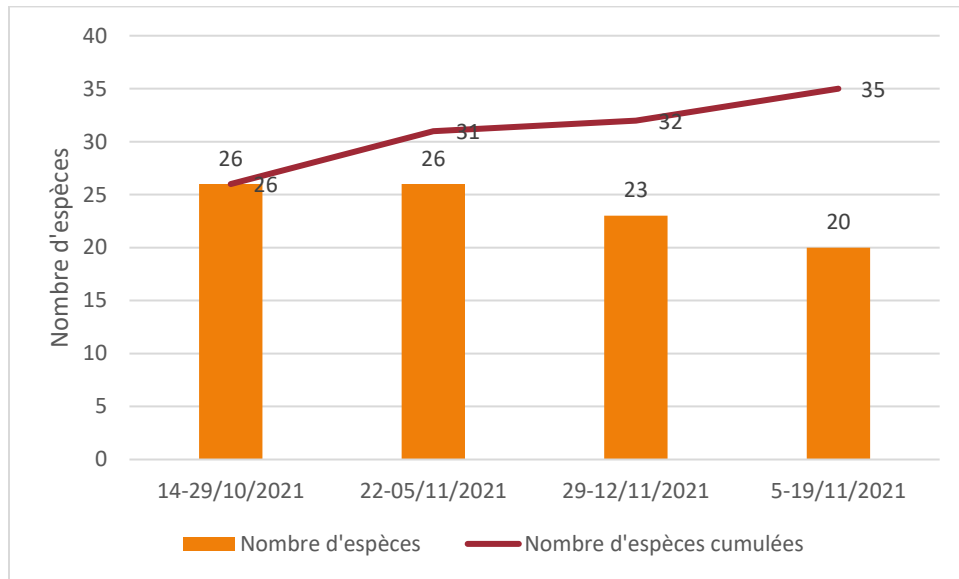


Figure 8. Évolution du nombre hebdomadaire d'espèces et du nombre cumulé d'espèces de Carabes au cours de la période de suivi 2021.

Les communautés de Carabes

Quasiment l'ensemble des Carabidés sont liés aux milieux ouverts, le reste des effectifs concerne principalement des espèces ubiquistes (Carabes qui se trouvent dans différents milieux) (Figure 9). La présence des Carabidés de milieux humides et de milieux fermés est anecdotique. L'écologie d'une espèce est inconnue.

Les espèces de milieux ouverts sont souvent des espèces prairiales qui se trouvent régulièrement dans les agrosystèmes. Ce patron de distribution est alors typique des zones agricoles ouvertes, présentant peu de structures écologiques « de diversification des habitats » telles les haies, boqueteaux, bois, cours d'eau ou encore mares agricoles.

À noter qu'une espèce de Carabes, *Nebria salina*, représente plus de 82% des effectifs de Carabes capturés. Cette espèce a activité automnale et printanière et est en effet très abondante à cette période de l'année.

L'ensemble des carabes trouvés sont soit parasitoïdes, soit prédateurs à l'état larvaire. Ces éléments montrent donc que quasiment tous les Carabes relevés ici jouent un rôle à l'état larvaire dans la régulation des invertébrés au niveau du sol. Ils prédatent ou parasitent toute une gamme d'organismes : limaces, vers de terre, collemboles, larves de taupins, larves de hannetons, larves ou nymphes de diptères...

La distribution des communautés (selon les régimes alimentaires des adultes, Figure 10) est grandement influencée par la distribution de l'espèce dominante, *Nebria salina*. Ainsi, la quasi-totalité des Carabidés (98%) est majoritairement prédatrice à l'état adulte. Les omnivores représentent moins de 1% des effectifs ainsi que les phytophages. Les adultes prédateurs régulent de manière opportuniste tous types d'organismes à la surface du sol tels que les pucerons, les limaces, les collemboles... Les adultes omnivores consomment à la fois des proies et des portions végétales. Les phytophages consomment les petites parties tendres des végétaux ou de graines. Ces espèces peuvent également être utiles dans la limitation des adventices, en consommant notamment leurs graines.

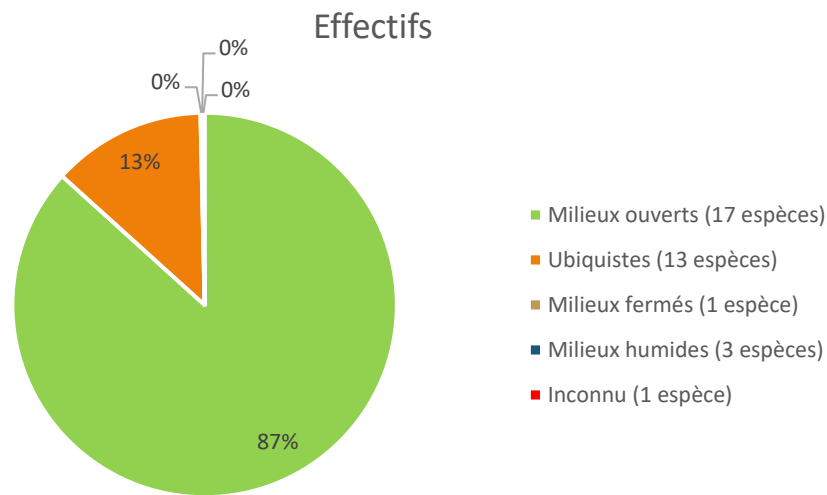


Figure 9. Distribution des Carabidés (effectifs) en fonction de leurs habitats (N = 6647 spécimens pour 35 espèces).

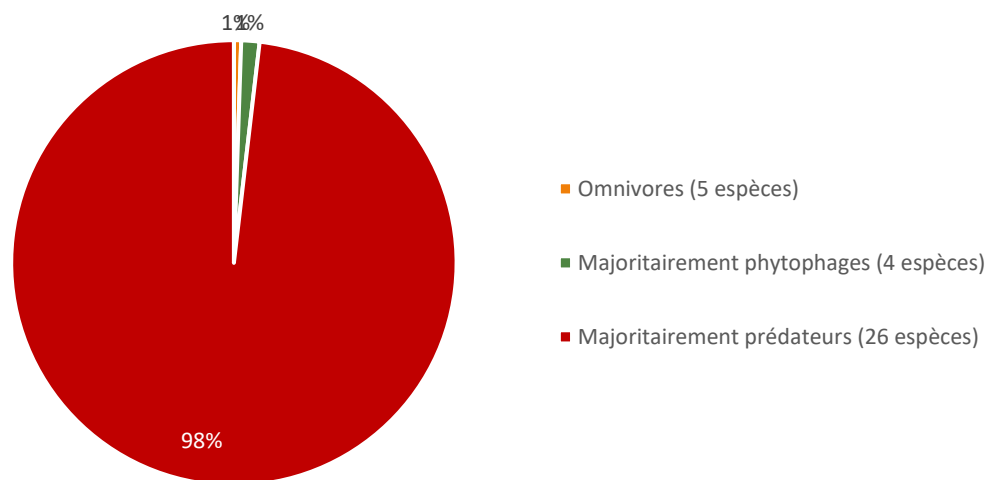


Figure 10. Distribution des Carabidés (effectifs) en fonction de l'alimentation des adultes (N = 6647 spécimens pour 35 espèces).

Résultats par parcelle

Les résultats en fonction des parcelles sont présentés dans le Tableau II. Cette année, le nombre de Carabidés échantillonné a varié de 54,75 à 420 par relevé selon les parcelles (moyenne : 207,72) et le nombre d'espèces de 2,5 à 4,75 (moyenne : 3,53).

Les parcelles où, en moyenne, le plus de spécimens ont été relevés sont les parcelles 4, 10 et 9. La plus grande diversité moyenne quant à elle a été relevée dans les parcelles 4, 2 et 1.

À noter qu'il s'agit de parcelles (1, 2, 4, 9 et 10) ayant parmi les meilleures notes de couvert.

Tableau II. Résultats en fonction des parcelles suivies. Vert : trois données les plus élevées.

Départements	N° parcelle	Effectifs totaux	Espèces totales	Effectifs par relevé	Espèces par relevé
18	1	551	16	137,75	4
	2	500	17	125	4,25
28	4	1680	19	420	4,75
36	6	219	10	54,75	X
	7	302	11	75,5	X
45	8	283	14	70,75	3,5
	9	1513	14	378,25	3,5
	10	1599	12	399,75	3

Effet des cultures associées blé – féverole, blé – pois et blé – vesce sur la faune terricole

Les analyses sont basées sur les relevés effectués via le dispositif de piégeage au sol en 2021. Cela concerne 633 étaient des Araignées, 6 647 des Carabidés, 161 des Staphylins et 2 932 des Opilions.

Les données ont été traitées avec le logiciel RStudio (R Core Team 2016). Le seuil de significativité était fixé à $\alpha = 0,05$ (soit un intervalle de confiance de 95 %). L'impact du type de culture (Blé associé (B1: blé + féverole ; B2: blé + pois ; B3: blé + vesce) ou blé pur (B0)) sur les effectifs de Carabidés, d'Araignées, d'Opilions et de Staphylins ainsi que la diversité de Carabidés ont été testés indépendamment pour chaque départements (18-28-45-36).

Une comparaison des niveaux moyens d'effectifs pour le 28, le 18 et le 45 (pour les Carabidés, les Araignées, les Opilions et les Staphylins) et de diversité (uniquement pour les Carabidés) (modèles linéaires généralisés à effets mixtes ; régression de Poisson ; ANOVA suivi d'un test de comparaison de moyennes deux à deux de Tukey-Kramer, lorsque les probabilités associées étaient inférieures à 0,05) ont été réalisées.

Dans le cas du 36, du fait de l'irrégularité de fréquence des relevés réalisés, les effectifs de Carabidés, d'Araignées, d'Opilions et de Staphylins capturés, ont été ramenés au nombre de jours entre deux relevés et analysés de façon descriptive uniquement.

Effet des cultures associées blé – féverole/pois ou vesce dans le 28

- **Les Carabidés**

Les différences entre les effectifs moyens de Carabidés observées pour les quatre modalités ne sont pas significatives ($p\text{-value} = 0,3519$). Elles ne semblent dues qu'à la fluctuation d'échantillonnage. Rien ne nous permet de réfuter donc, pour l'instant, que les effectifs moyens sont identiques entre les différentes modalités. Les résultats indiquent qu'il y a en moyenne plus d'effectifs de Carabidés dans les bandes en blé vesce (« B3 ») que dans les autres bandes (Figure 9). Néanmoins, cette dernière observation est à prendre comme une tendance puisqu'elle n'est pas significative d'un point de vue statistique.

Concernant la diversité de Carabes, les différences entre le nombre d'espèces moyen de Carabidés observés pour les quatre modalités, ne sont pas significatives ($p\text{-value} = 0,5186$). Elles ne semblent dues qu'à la fluctuation d'échantillonnage. Rien ne nous permet de réfuter donc, pour l'instant, que les nombres d'espèces moyens sont identiques entre les différentes modalités.

Les résultats indiquent qu'il y a en moyenne plus d'espèces de Carabidés dans les bandes en blé vesce (« B3 ») que dans les autres bandes. Néanmoins, cette dernière observation est à prendre comme une tendance puisqu'elle n'est pas significative d'un point de vue statistique.

Il est donc difficile de tirer de conclusions fermes quant à l'effet possible de la féverole, du pois ou de la vesce comme plantes compagnes. Il en résulte donc des résultats peu généralisables, un manque de précisions des estimations et une très grande variabilité au sein des données.

Il serait intéressant d'augmenter le nombre de sites testés afin d'en lisser un peu l'hétérogénéité ou le temps de suivi.

- **Les Araignées, les Staphylins et les Opilions**

Pour les effectifs d'Araignées et de Staphylins, on constate qu'il y a en moyenne plus d'individus capturés dans les bandes en blé (« B0 ») que dans celles de blé associé (Figure 10). Néanmoins, ces observations sont à prendre comme une tendance puisqu'elles ne sont pas significatives d'un point de vue statistique ($p\text{-value}_{\text{araignées}} = 0,401$; $p\text{-value}_{\text{staphylins}} = 0,3461$).

Concernant les Opilions, ces derniers suivent la tendance inverse. On observe en moyenne plus d'Opilions dans les bandes de blé associé que dans les bandes B0 ($p\text{-value}_a = 0,03286^*$). Plus précisément, La seule comparaison notable qui ressort du test de comparaison deux à deux, est celle observée entre les modalités B2 et B0 ($B2 > B0$) avec une $p\text{-value}$ de 0,0233 (*). Le nombre moyen d'Opilions capturés dans le 28, pour la modalité B2 est supérieur et de manière significative au nombre moyen d'Opilions capturés pour la modalité B0.

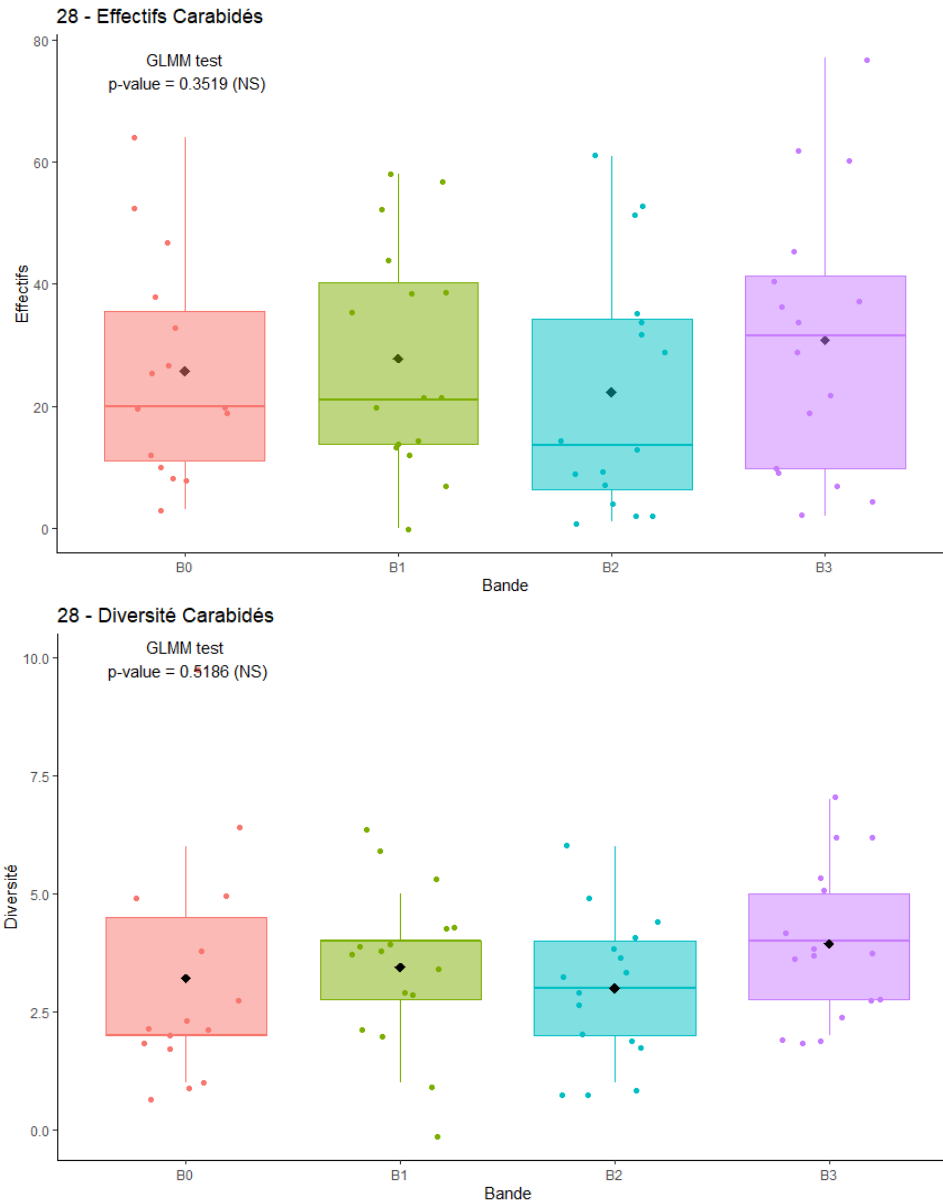


Figure 9. Box plots de la distribution des effectifs et du nombre d'espèces (diversité) de Carabidés capturés selon les deux modalités étudiées (N = 1680 spécimens). Les moyennes sont représentées par des losanges noirs. « B0 » : blé ; « B1 » : blé + féverole ; « B2 » : blé + pois ; « B3 » : blé + vesce. Les étoiles indiquent que les moyennes sont significativement différentes (« * » : significatif ; « ** » : très significatif ; « *** » : hautement significatif).

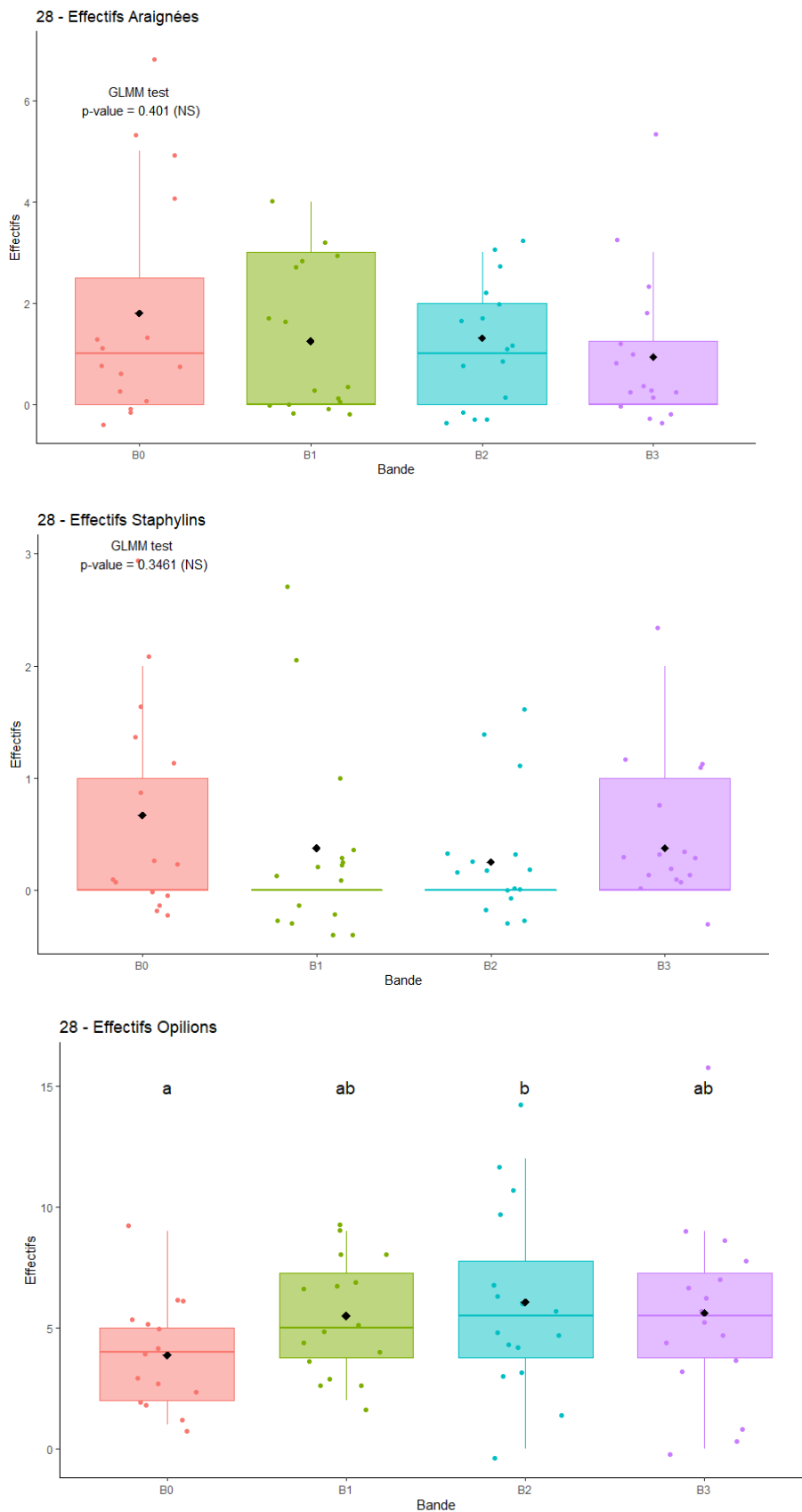


Figure 10. Box plots de la distribution des effectifs d'Araignées, d'Opilions et de Staphylins capturés selon les différentes modalités étudiées (N = 83 Araignées, 333 Opilions et 26 Staphylins). Les moyennes sont représentées par des losanges noirs. « B0 » : blé ; « B1 » : blé + féverole ; « B2 » : blé + pois ; « B3 » : blé + vesce. Les étoiles indiquent que les moyennes sont significativement différentes (« * » : significatif ; « ** » : très significatif ; « *** » : hautement significatif).

Effet des cultures associées blé – féverole/pois ou vesce dans le 45

- **Les Carabidés**

La fluctuation d'échantillonnage ne suffit pas à expliquer la différence entre les moyennes observées. Au moins l'une des moyennes diffère significativement d'au moins une autre ($p\text{-value} = 0,0006328^{***}$). Il y a donc au moins une modalité qui diffère significativement des autres (il existe une variation significative de l'effectif en fonction des modalités testées). Afin de répondre à la question « Quelles modalités précises sont significativement différentes les unes des autres ? » nous avons recherché quels sont les couples de moyennes qui diffèrent significativement parmi l'ensemble des moyennes testées précédemment, au moyen d'un test de comparaison deux à deux. Il ressort les résultats suivants : $B1 > B0$ ($p\text{-value} = <0.001^{***}$), $B3 > B0$ ($p\text{-value} = 0.0411^*$), et $B1 > B2$ ($p\text{-value} = 0.0413^*$) qui sont significativement différents. Le nombre moyen de carabes capturés dans le 45, par les bandes B1 et B3 est supérieur et de manière significative au nombre moyen de Carabidés capturés pour les bandes B0. De même le nombre moyen de carabes capturés dans le 45, par les bandes B1 est supérieur et de manière significative au nombre moyen de Carabidés capturés par les bandes B2.

Il est intéressant de noter ici qu'il existe une certaine variabilité au sein des données si on observe les résultats à l'échelle de chaque site.

En effet, si on analyse uniquement les données des sites 9 et 10 indépendamment on observe qu'il y a plus de carabes dans la bande B1 que dans la bande B0 et ce, de façon significative ($p\text{val}_9 = 0,001261^{**}$; $p\text{val}_{10} = <2,2 \times 10^{-16}^{***}$). À noter que les modalités de blé associé, B1 et B3 semblent présenter plus d'intérêt (de manière significative dans le site 10).

À l'inverse, on observe la tendance inverse dans le site 8 dans lequel on observe plus de Carabes dans la bande B0 que dans la bande B1 (Figure 13). Toutefois les observations faites sur le site 8 sont à prendre comme des tendances puisqu'elles ne sont pas significatives d'un point de vue statistique.

Concernant la diversité de Carabes, les différences entre le nombre d'espèces moyens de Carabidés observés pour les quatre modalités, ne sont pas significatives ($p\text{-value} = 0,7318$). Elles ne semblent dues qu'à la fluctuation d'échantillonnage. Rien ne nous permet de réfuter donc, pour l'instant, que les nombres d'espèces moyens sont identiques entre les différentes modalités.

Les résultats indiquent qu'il y a en moyenne plus d'espèces de Carabidés dans les bandes en blé féverole (« B1 ») que dans les autres bandes. Néanmoins, cette dernière observation est à prendre comme une tendance puisqu'elle n'est pas significative d'un point de vue statistique.

Il est difficile de tirer de conclusions fermes quant à l'effet possible de la féverole, du pois ou de la vesce comme plantes compagnes puisqu'à l'échelle d'un même département et malgré des pratiques relativement similaires, les résultats témoignent de tendances différentes selon les sites (notamment le site 8). Toutefois, on observe indubitablement un effet significatif et bénéfique de l'utilisation de la féverole et de la vesce comme plantes compagne du blé sur les effectifs de carabes par rapport au blé seul.

Il serait intéressant d'augmenter le nombre de sites testés afin d'en lisser un peu l'hétérogénéité ou le temps de suivi et de sélectionner des sites plus homogènes (en termes de pratiques, paysage, historique, état du couvert, etc.) afin de confirmer ces résultats.

- **Les Araignées, les Staphylins et les Opilions**

Pour les effectifs d'Araignées, on constate qu'il y a en moyenne plus d'individus capturés dans les bandes en blé pois (« B2 ») (Figure 12). Inversement, pour les effectifs de Staphylins on constate qu'il y a en moyenne plus d'individus capturés dans les bandes en blé (« B0 ») que dans celles de blé associé (Figure 12). Néanmoins, ces observations sont à prendre comme une tendance puisqu'elles ne sont pas significatives d'un point de vue statistique ($p\text{-value}_{\text{araignées}} = 0,609$; $p\text{-value}_{\text{staphylins}} = 0.0147$ cpm nulle).

Concernant les Opilions, ces derniers suivent la tendance inverse. On observe en moyenne plus d'Opilions dans les bandes de blé associé que dans les bandes B0 ($p\text{-value}_a = 0,0001105^{***}$). Plus précisément, Les seules comparaisons notables qui ressortent du test de comparaison deux à deux, sont celles observées entre les modalités B2 et B0 ($B2 > B0$) avec une $p\text{value} < 0.001^{**}$ et les modalités B1 et B0 ($B1 > B0$) avec une $p\text{value}$ de 0.00471^{**} . Le nombre moyen d'Opilions capturés dans le 45, pour les modalités B1 et B2 est supérieur et de manière significative au nombre moyen d'Opilions capturés pour la modalité B0.

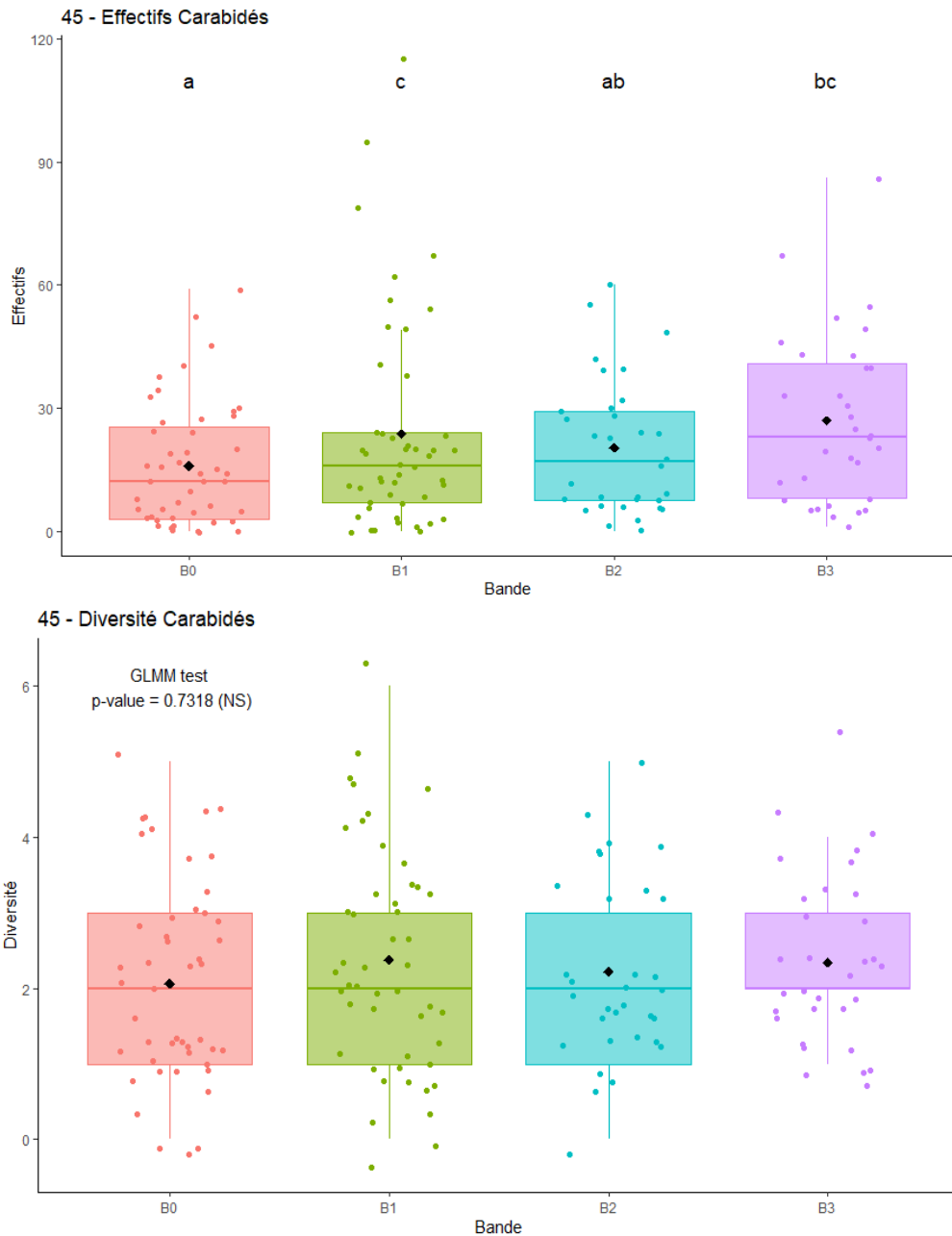


Figure 11. Box plots de la distribution des effectifs et du nombre d'espèces (diversité) de Carabidés capturés selon les deux modalités étudiées (N = 3 395 spécimens). Les moyennes sont représentées par des losanges noirs. « B0 » : blé ; « B1 » : blé + féverole ; « B2 » : blé + pois ; « B3 » : blé + vesce. Les étoiles indiquent que les moyennes sont significativement différentes (« * » : significatif ; « ** » : très significatif ; « *** » : hautement significatif).

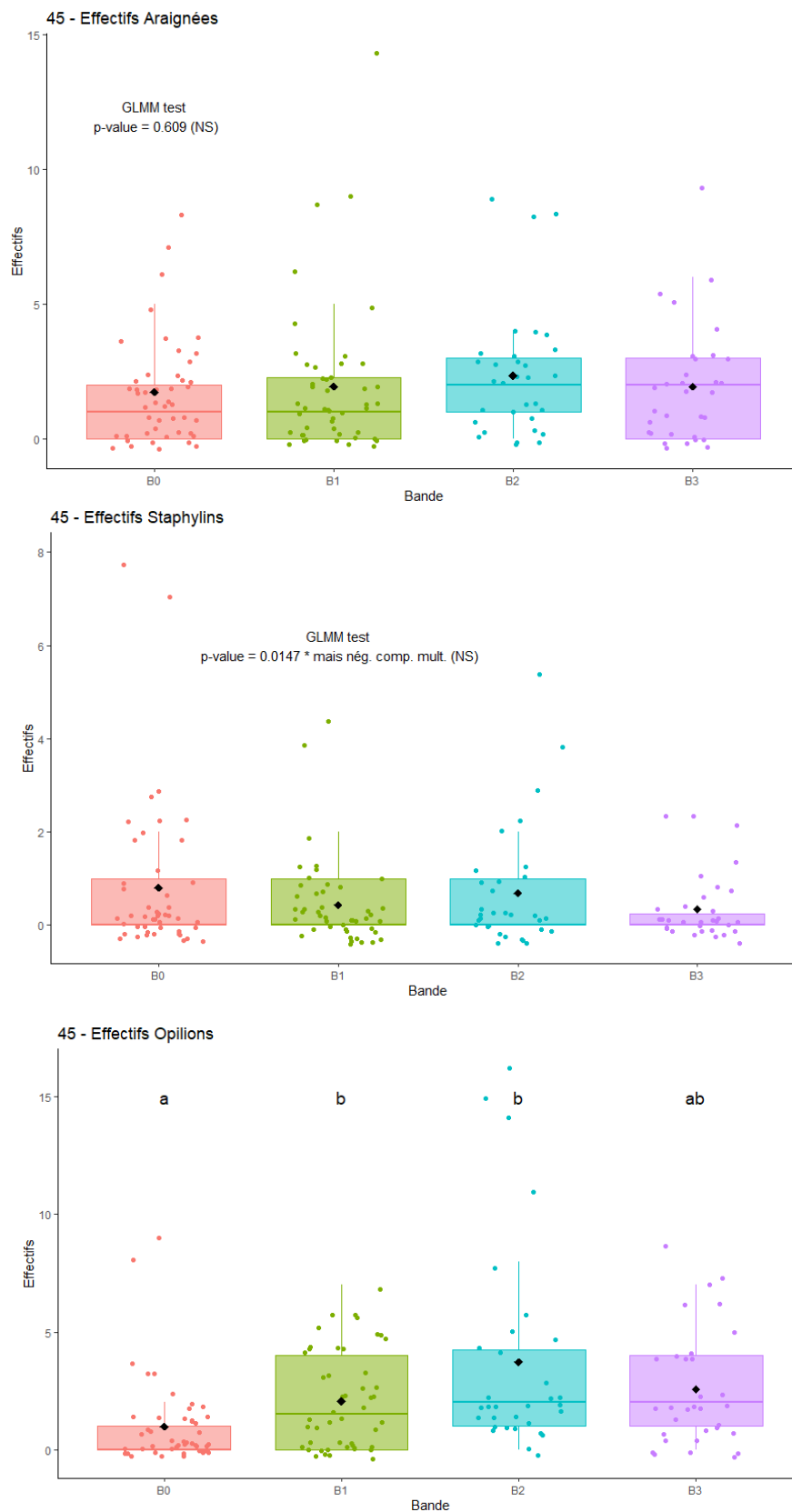


Figure 12. Box plots de la distribution des effectifs d'Araignées, d'Opilions et de Staphylins capturés selon les différentes modalités étudiées (N = 311 Araignées, 346 Opilions et 92 Staphylins). Les moyennes sont représentées par des losanges noirs. « B0 » : blé ; « B1 » : blé + féverole ; « B2 » : blé + pois ; « B3 » : blé + vesce. Les étoiles indiquent que les moyennes sont significativement différentes (« * » : significatif ; « ** » : très significatif ; « *** » : hautement significatif).

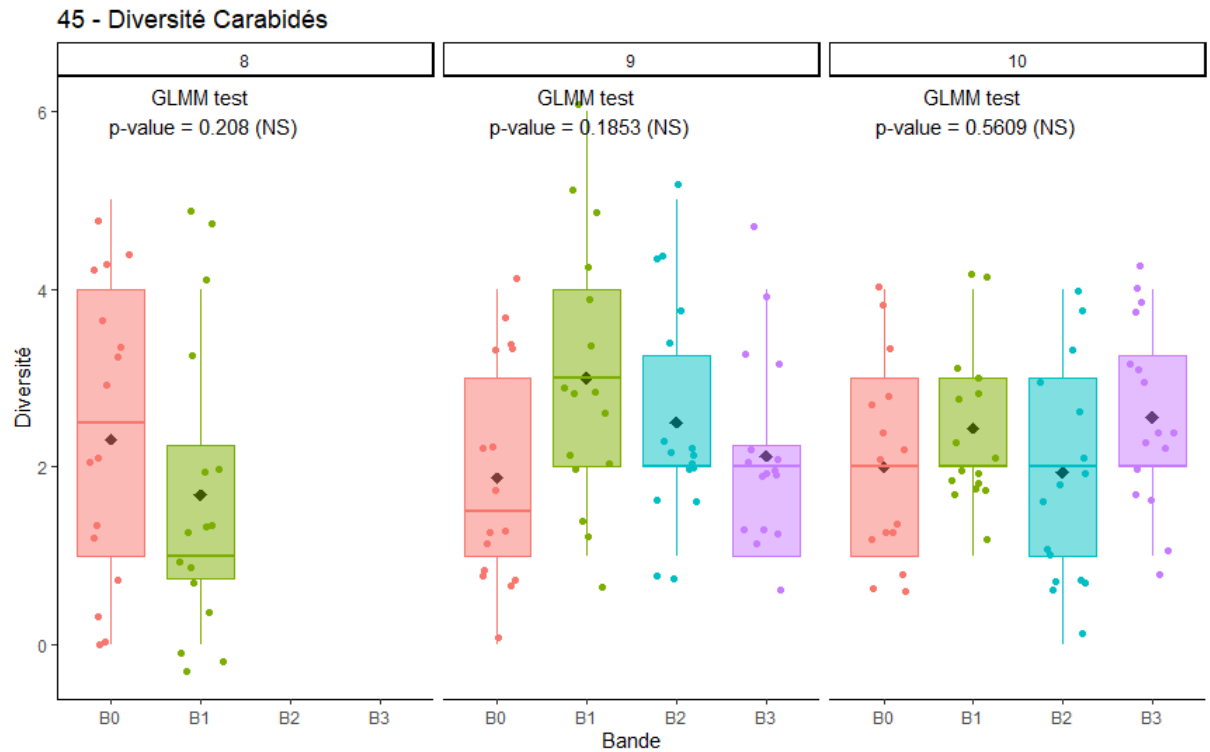
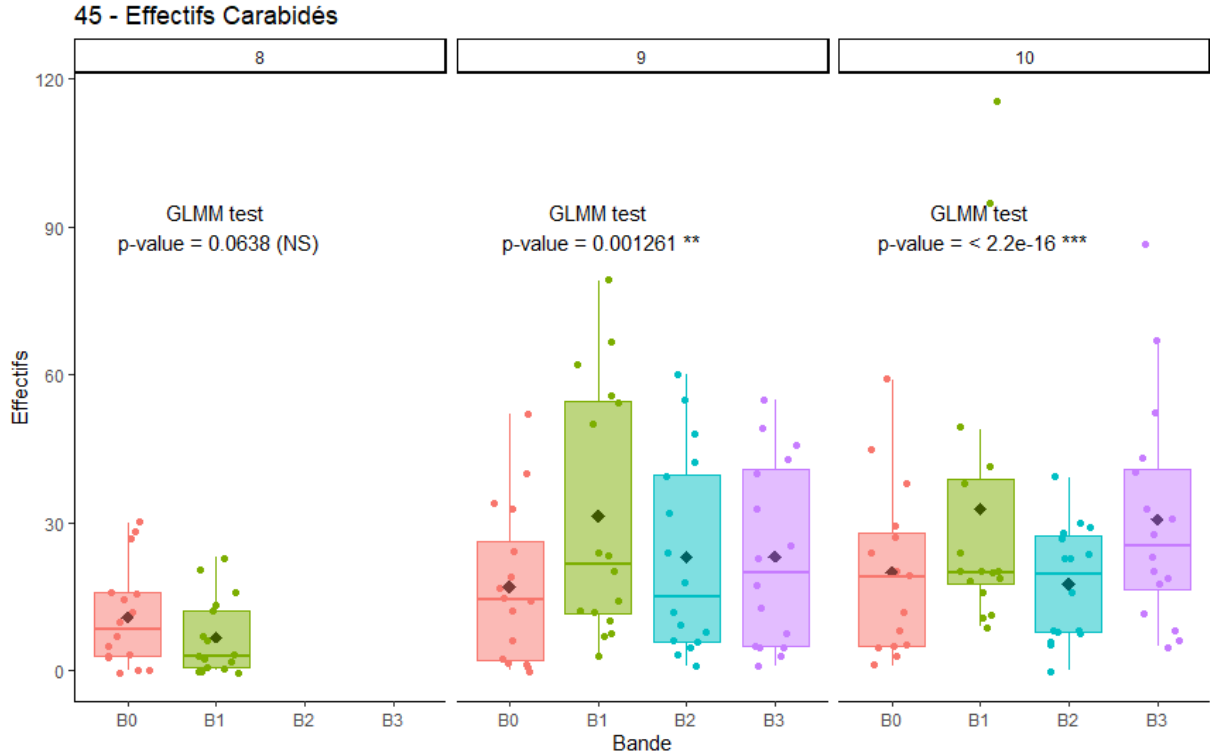


Figure 13. Box plots de la distribution des effectifs et du nombre d'espèces (diversité) de Carabidés capturés selon les deux modalités étudiées dans les sites 8, 9 et 10 (N = 283 spécimens dans le site 8, 1 513 spécimens dans le site 9 et 1 599 spécimens dans le site 10). Les moyennes sont représentées par des losanges noirs. « B0 » : blé ; « B1 » : blé + féverole ; « B2 » : blé + pois ; « B3 » : blé + vesce. Les étoiles indiquent que les moyennes sont significativement différentes (« * » : significatif ; « ** » : très significatif ; « *** » : hautement significatif).

Effet des cultures associées blé – féverole/ pois ou vesce dans le 18

- **Les Carabidés**

La fluctuation d'échantillonnage ne suffit pas à expliquer la différence entre les moyennes observées. Au moins l'une des moyennes diffère significativement d'au moins une autre (pvalue= 0,008346**). Il y a donc au moins une modalité qui diffère significativement des autres (il existe une variation significative de l'effectif en fonction des modalités testées). Afin de répondre à la question « Quelles modalités précises sont significativement différentes les unes des autres ? » nous avons recherché quels sont les couples de moyennes qui diffèrent significativement parmi l'ensemble des moyennes testées précédemment, au moyen d'un test de comparaison deux à deux. Il ressort les résultats suivants : B0>B1 (p-value = 0.00723 **) qui sont significativement différents. Le nombre moyen de carabes capturés dans le 18, par les bandes B0 est supérieur et de manière significative au nombre moyen de Carabidés capturés pour les bandes B1.

Il est intéressant de noter ici qu'il existe une certaine variabilité au sein des données si on observe les résultats à l'échelle de chaque site.

En effet, si on analyse uniquement les données des sites 1 et 2 indépendamment on observe qu'il y a plus de carabes dans la bande B0 que dans les bandes de blé associé et ce, de façon significative pour le site 2 (pval₁ = 0.09877 ; pval₂ = 0.01841*) (Figure 16). À noter que les modalités de blé associé semblent présenter moins d'intérêt. Toutefois cette dernière observation est à prendre comme une tendance puisqu'elle n'est pas significative d'un point de vue statistique.

Concernant la diversité de Carabes, les différences entre le nombre d'espèces moyens de Carabidés observés pour les quatre modalités, ne sont pas significatives (p-value = 0,7282). Elles ne semblent dues qu'à la fluctuation d'échantillonnage. Rien ne nous permet de réfuter donc, pour l'instant, que les nombres d'espèces moyens sont identiques entre les différentes modalités.

Il est difficile de tirer de conclusions fermes quant à l'effet possible de la féverole, du pois ou de la vesce comme plantes compagnes puisqu'à l'échelle d'un même département et malgré des pratiques relativement similaires, les résultats témoignent de tendances différentes selon les sites. Toutefois, on observe un effet significatif et défavorable de l'utilisation de la féverole, du pois et de la vesce comme plantes compagne du blé sur les effectifs de carabes par rapport au blé seul (significatif pour le site 2, pour les modalités B0/B1).

Il serait intéressant d'étudier de façon plus précise les sites, état des couverts, etc. pour expliquer ces résultats contradictoires par rapport à ceux obtenus pour les autres départements.

Il serait intéressant d'augmenter le nombre de sites testées afin d'en lisser un peu l'hétérogénéité ou le temps de suivi et de sélectionner des sites plus homogènes (en termes de pratiques, paysage, historique etc) afin de confirmer ces résultats.

- **Les Araignées, les Staphylins et les Opilions**

Pour les effectifs d'Araignées, on constate qu'il y a en moyenne plus d'individus capturés dans les bandes en blé pois (« B2 ») (Figure 15). Inversement, pour les effectifs de Staphylins on constate qu'il y a en moyenne plus d'individus capturés dans les bandes en blé (« B0 ») que dans celles de blé associé (Figure 15). Néanmoins, ces observations sont à prendre comme une tendance puisqu'elles ne sont pas significatives d'un point de vue statistique ($p\text{-value}_{\text{araignées}} = 0,4166$; $p\text{-value}_{\text{staphylins}} = 0.5274$ cpm nulle).

Concernant les Opilions, ces derniers suivent la tendance inverse. On observe en moyenne plus d'Opilions dans les bandes de blé associé que dans les bandes B0 ($p\text{-value}_a = 1.146 \times 10^{-5}$ ***). Plus précisément, Les seules comparaisons notables qui ressortent du test de comparaison deux à deux, sont celles observées entre les modalités B2 et B0 ($B2 > B0$) avec une pvalue < 0.001 *** ; les modalités B1 et B0 ($B1 > B0$) avec une pvalue de < 0.001 ** et les modalités B2 et B3 ($B2 > B3$) avec une pvalue de $0,0357$ *. Le nombre moyen d'Opilions capturés dans le 18, pour les bandes B1 et B2 et B3 est supérieur et de manière significative (pour B1 et B2) au nombre moyen d'Opilions capturés pour les bandes B0.

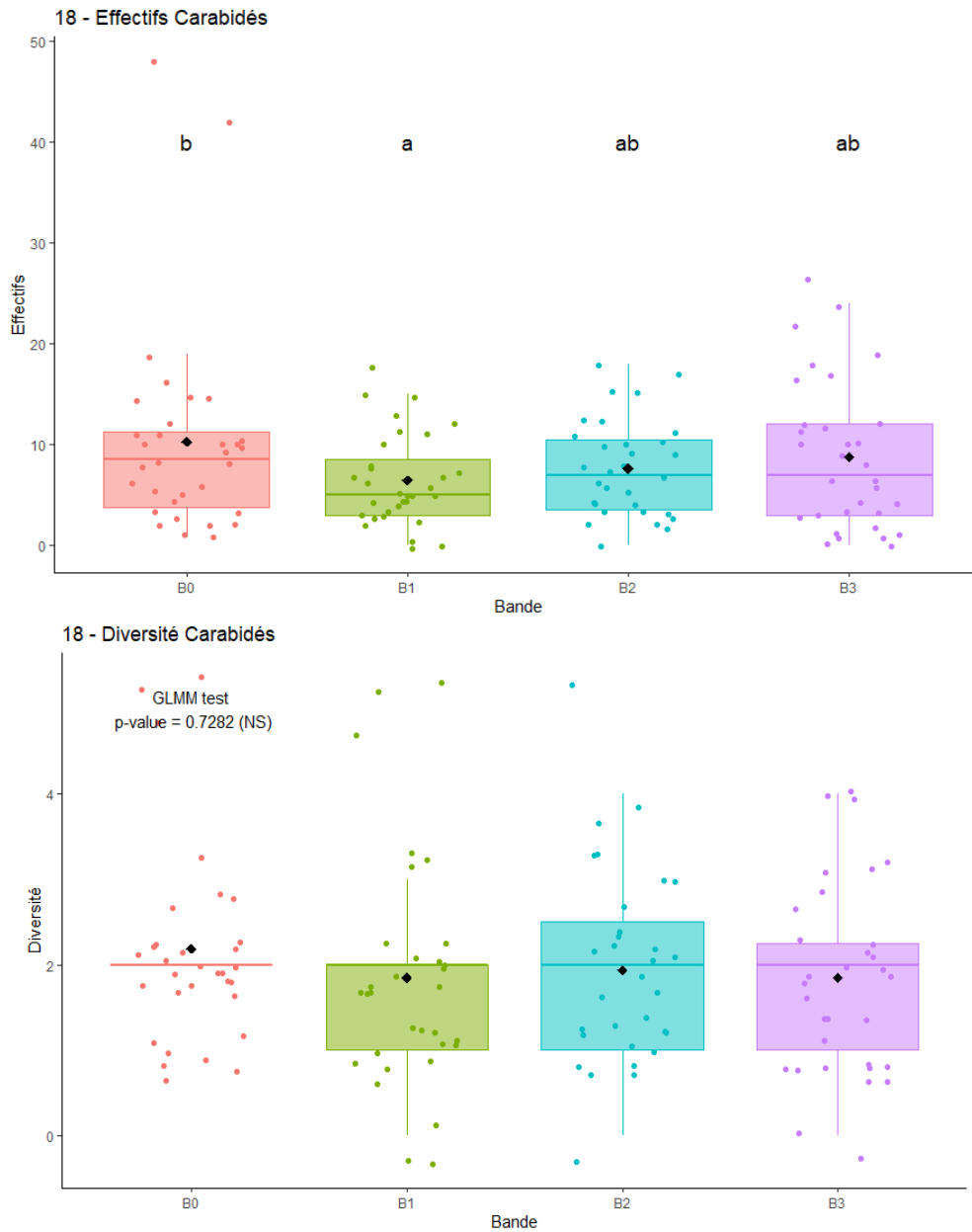


Figure 14. Box plots de la distribution des effectifs et du nombre d'espèces (diversité) de Carabidés capturés selon les deux modalités étudiées (N = 1 051 spécimens). Les moyennes sont représentées par des losanges noirs. « B0 » : blé ; « B1 » : blé + féverole ; « B2 » : blé + pois ; « B3 » : blé + vesce. Les étoiles indiquent que les moyennes sont significativement différentes (« * » : significatif ; « ** » : très significatif ; « *** » : hautement significatif).

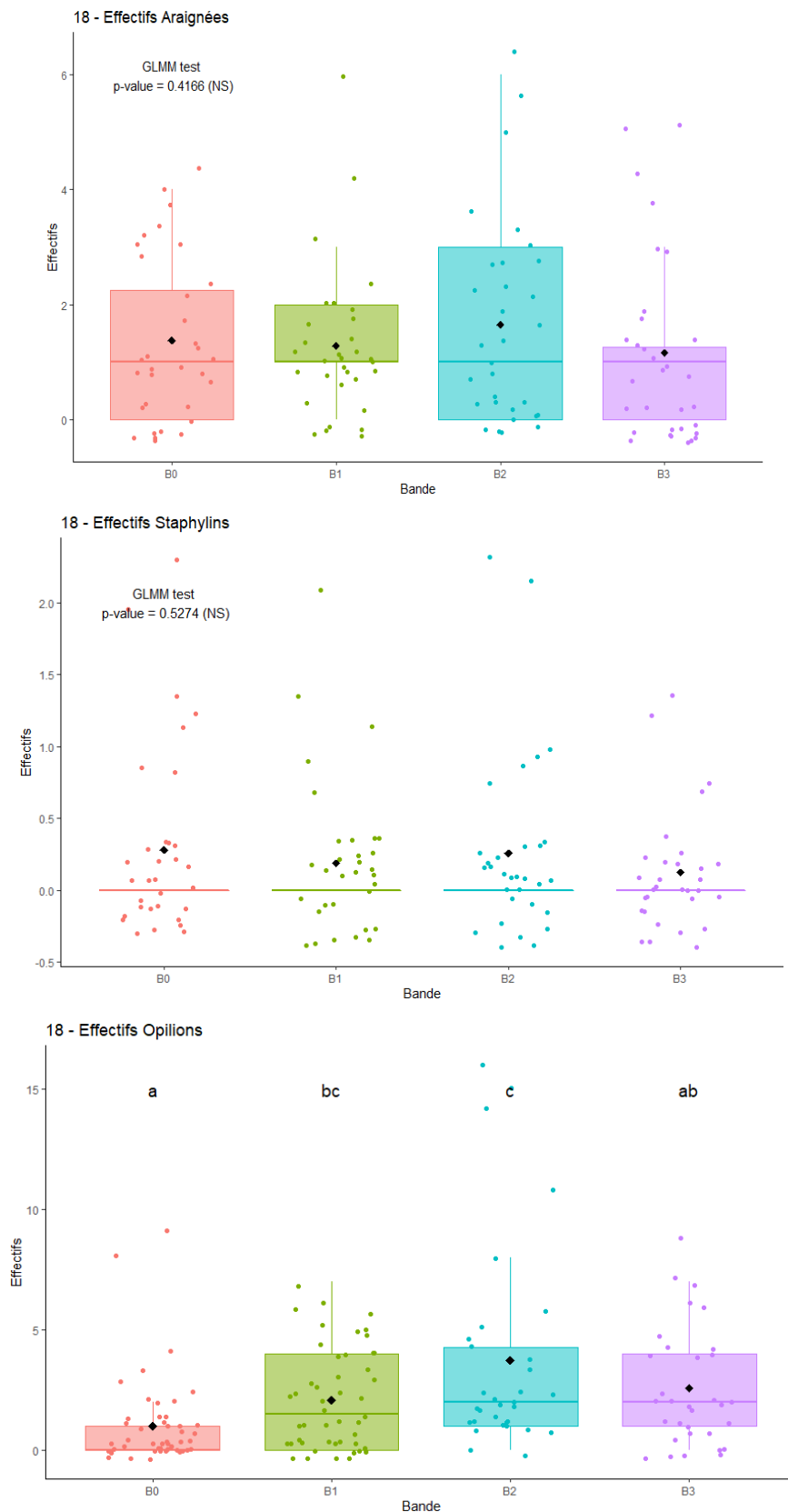


Figure 15. Box plots de la distribution des effectifs d’Araignées, d’Opilions et de Staphylin capturés selon les différentes modalités étudiées (N = 173 Araignées, 410 Opilions et 27 Staphylin). Les moyennes sont représentées par des losanges noirs. « B0 » : blé ; « B1 » : blé + féverole ; « B2 » : blé + pois ; « B3 » : blé + vesce. Les étoiles indiquent que les moyennes sont significativement différentes (« * » : significatif ; « ** » : très significatif ; « *** » : hautement significatif).

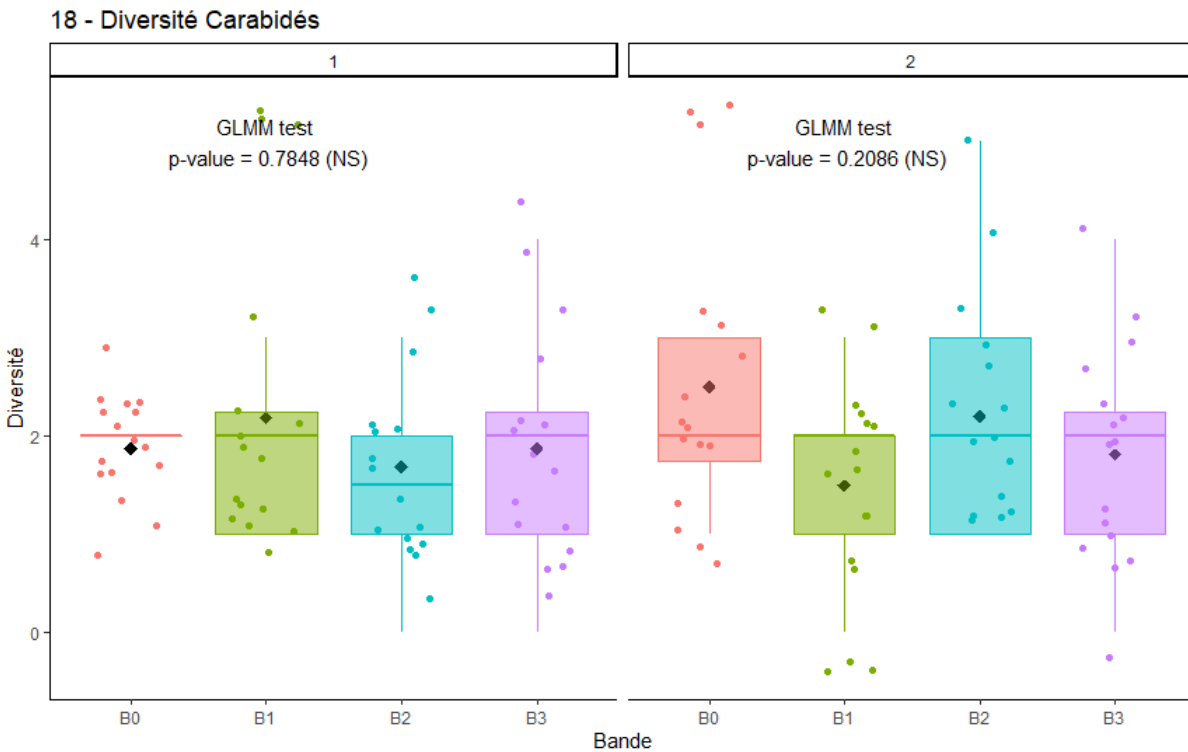
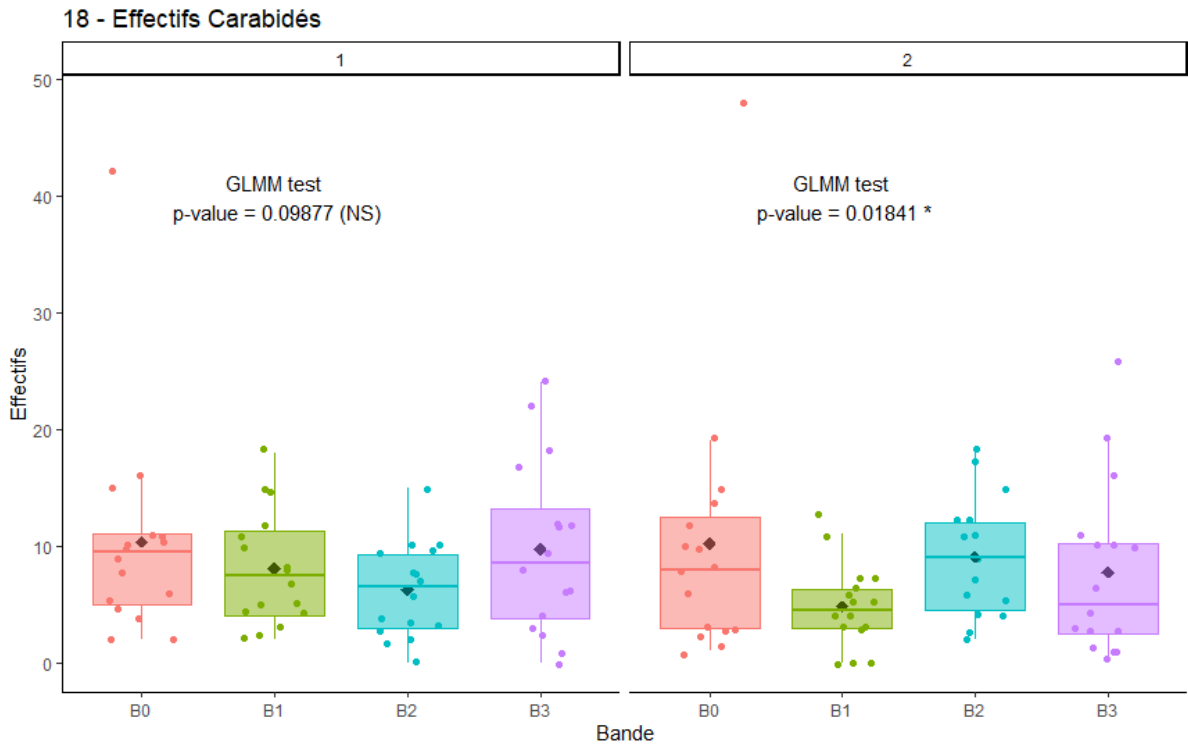


Figure 16. Box plots de la distribution des effectifs et du nombre d'espèces (diversité) de Carabidés capturés selon les deux modalités étudiées dans les sites 1, 2 et 3 (N = 551 spécimens dans le site 1 et 500 spécimens dans le site 2). Les moyennes sont représentées par des losanges noirs. « B0 » : blé ; « B1 » : blé + féverole ; « B2 » : blé + pois ; « B3 » : blé + vesce. Les étoiles indiquent que les moyennes sont significativement différentes (« * » : significatif ; « ** » : très significatif ; « *** » : hautement significatif).

Effet des cultures associées blé – féverole/ pois ou vesce dans le 36

- **Les Carabidés**

Les résultats indiquent qu'il y a en moyenne plus d'effectifs de Carabidés dans les bandes blé féverole (« B1 ») (Figure 17). Néanmoins, cette dernière observation est à prendre comme une tendance puisqu'elle n'a pas pu être testée d'un point de vue statistique. Il est intéressant de noter ici qu'il existe une certaine variabilité au sein des données si on observe les résultats à l'échelle de chaque site.

En effet, si on analyse uniquement les données du site 7 on observe qu'il y a en moyenne plus de carabes dans la bande B1. Si on observe le site 6, on observe en moyenne plus de Carabes dans la bande B3 (Figure 19). Toutefois ces observations sont à prendre comme des tendances puisqu'elles n'ont pas pu être testées d'un point de vue statistique.

Concernant la diversité de Carabes, les résultats indiquent qu'il y a en moyenne plus d'espèces de Carabidés dans les bandes en blé (« B0 ») (Figure 17). Néanmoins, cette dernière observation est à prendre comme une tendance puisqu'elle n'a pas pu être testée d'un point de vue statistique. Il est intéressant de noter ici qu'il existe également une certaine variabilité au sein des données si on observe les résultats à l'échelle de chaque site. En effet, on observe qu'il y a en moyenne plus de diversité dans la bande B0 dans le site 7 et dans la bande B3 dans le site 6 (Figure 19). Toutefois, ces dernières observations sont à prendre comme une tendance puisqu'elles n'ont pas pu être testées d'un point de vue statistique.

Il est donc difficile de tirer de conclusions fermes quant à l'effet possible des plantes compagnes puisqu'à l'échelle d'un même département et malgré des pratiques relativement similaires, les résultats témoignent de tendances différentes selon les sites. Il en résulte donc des résultats peu généralisables, un manque de précisions des estimations et une très grande variabilité au sein des données. De plus, du fait de l'irrégularité des relevés, des analyses statistiques plus poussées n'ont pas pu être réalisées.

Il serait intéressant d'augmenter le nombre de sites testés afin d'en lisser un peu l'hétérogénéité ou le temps de suivi et de sélectionner des sites plus homogène (en termes de pratiques, paysage, historique, état du couvert, etc.).

- **Les Araignées, les Staphylins et les Opilions**

Concernant les Opilions, il y a en moyenne plus d'individus capturés dans les bandes en blé vesce (« B3 ») (Figure 18). Concernant les Staphylins et les Araignées, on en observe plus dans les bandes B1. Néanmoins, ces dernières observations sont à prendre comme une tendance puisqu'elles n'ont pas pu être testées d'un point de vue statistique. Il est important de noter que les effectifs étant faibles, il est difficile de conclure à un potentiel effet de la modalité testée.

Comme pour les autres départements, le nombre moyen d'Opilions capturés dans les bandes de blé associé est supérieur au nombre moyen d'Opilions capturés pour les bandes de blé pur (B0).

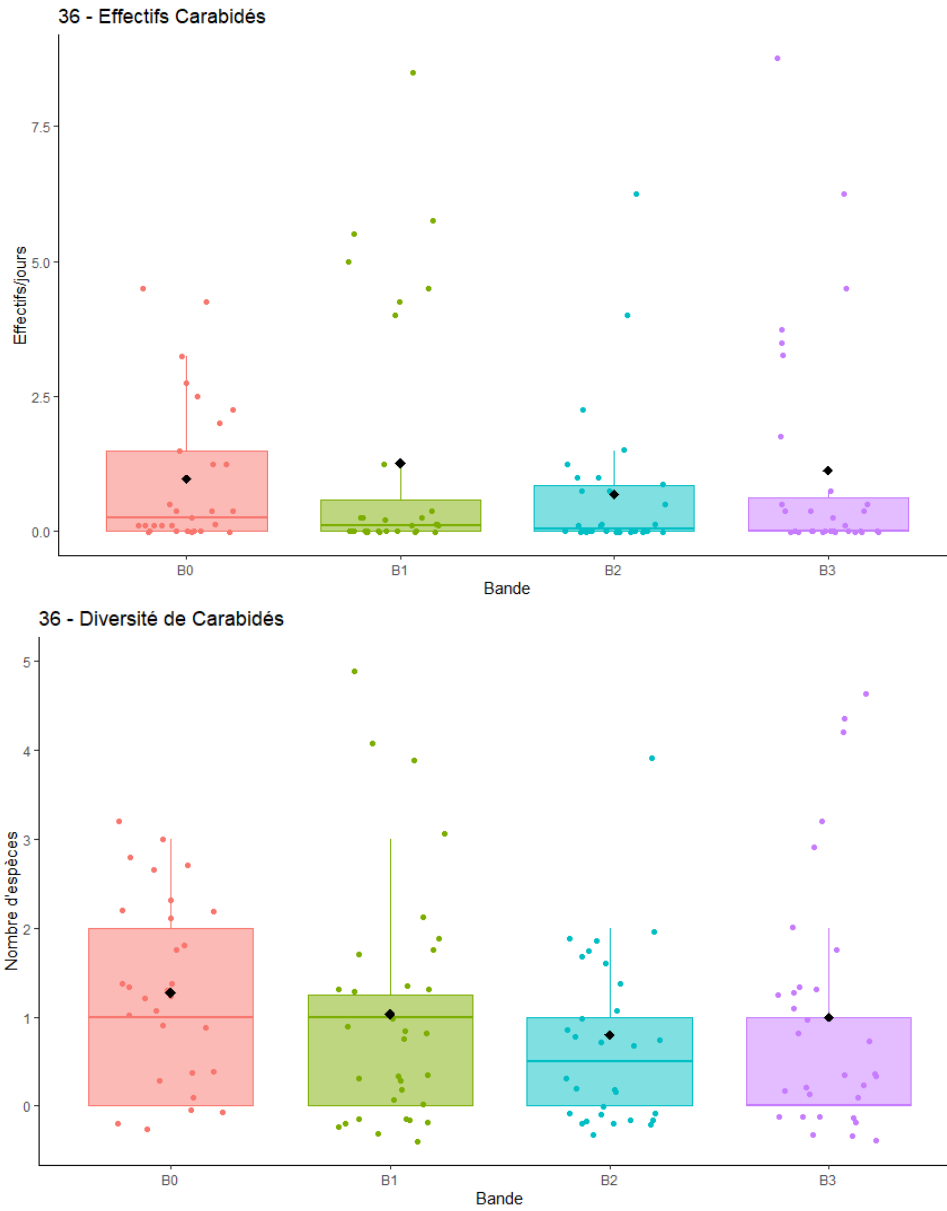


Figure 17. Box plots de la distribution des effectifs et du nombre d'espèces (diversité) de Carabidés capturés selon les deux modalités étudiées (N = 521 spécimens). Les moyennes sont représentées par des losanges noirs. « B0 » : blé ; « B1 » : blé + féverole ; « B2 » : blé + pois ; « B3 » : blé + vesce.

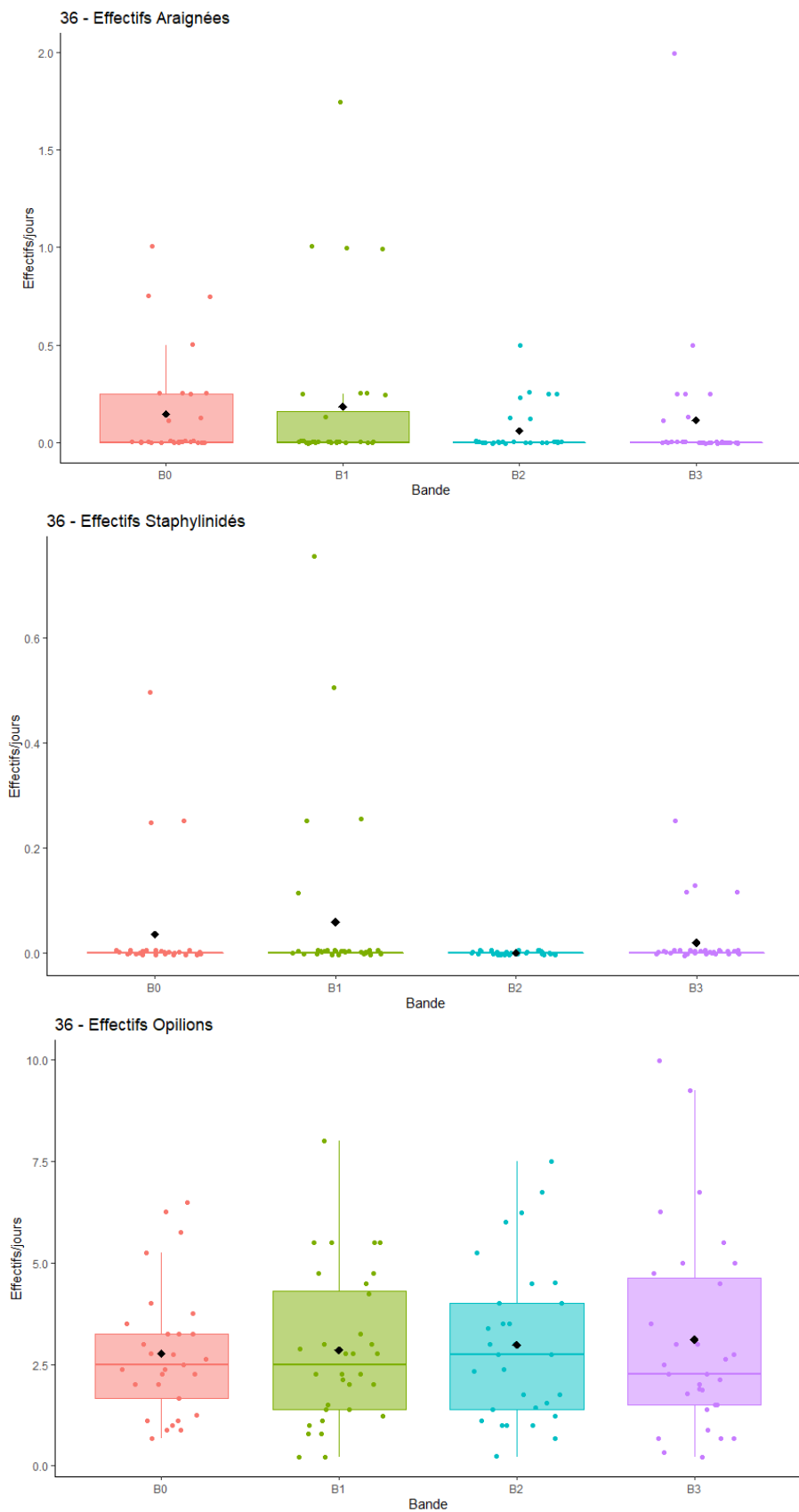


Figure 18. Box plots de la distribution des effectifs d'Araignées, d'Opilions et de Staphylins capturés selon les différentes modalités étudiées (N = 66 Araignées, 1843 Opilions et 16 Staphylins). Les moyennes sont représentées par des losanges noirs. « B0 » : blé ; « B1 » : blé + féverole ; « B2 » : blé + pois ; « B3 » : blé + vesce.

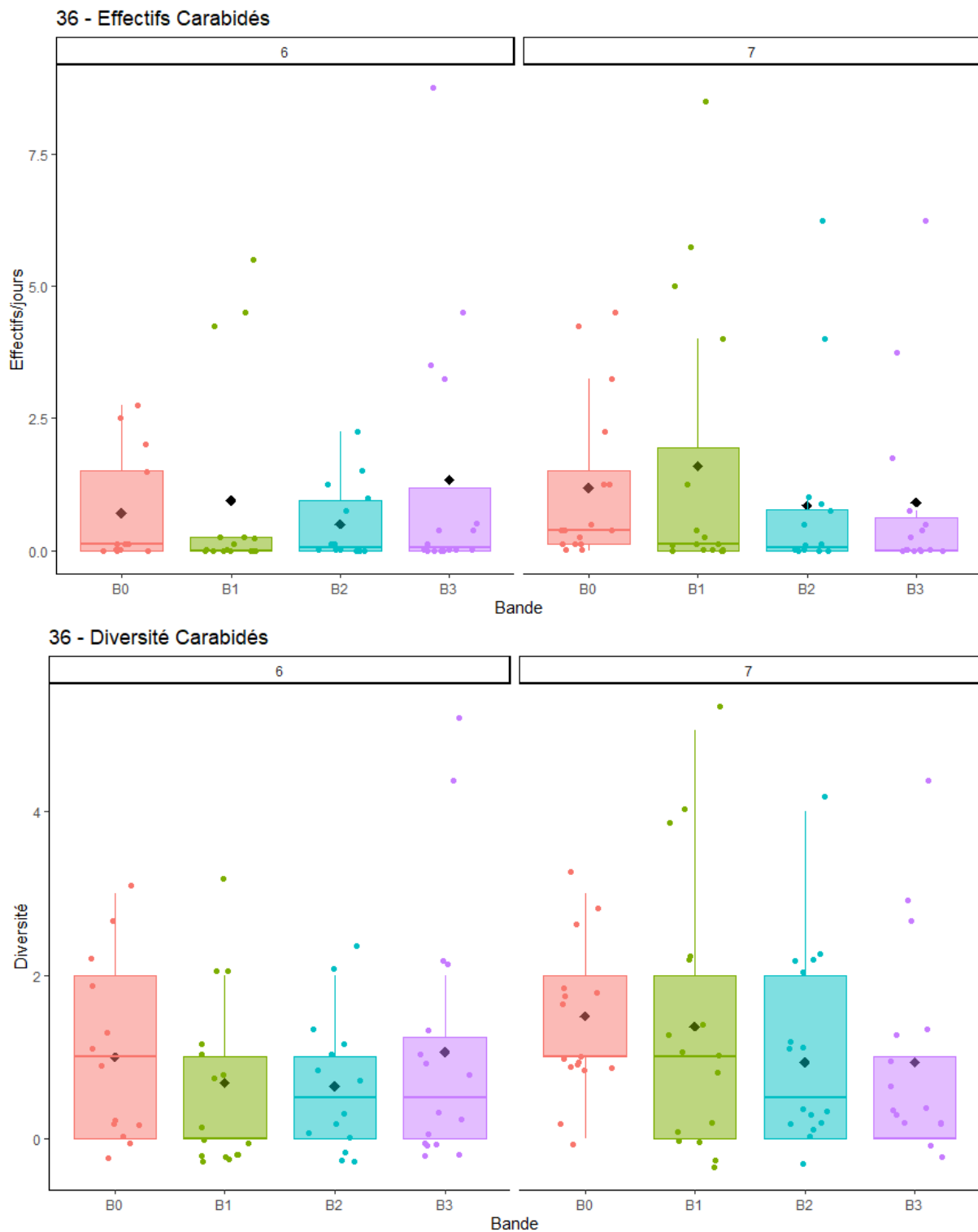


Figure 19. Box plots de la distribution des effectifs et du nombre d'espèces (diversité) de Carabidés capturés selon les deux modalités étudiées dans les sites 6 et 7 (N = 219 spécimens dans le site 6 et 302 spécimens dans le site 7). Les moyennes sont représentées par des losanges noirs. « B0 » : blé ; « B1 » : blé + féverole ; « B2 » : blé + pois ; « B3 » : blé + vesce.

Discussion

Suite aux expérimentations de 2021, il est difficile de conclure clairement à ce stade de l'expérimentation, du fait de l'ensemble des points détaillés dans la partie correspondante, quant à l'effet de la féverole, du pois et de la vesce comme plantes-compagnes du blé sur les effectifs de Carabidés, d'Araignées, d'Opilions et de Staphylins, ainsi que sur la diversité de Carabidés, et notamment dans le département 36, qui du fait de l'irrégularité de ses relevés n'a pu faire l'objet d'analyses statistiques des données.

Toutefois pour le département du 45, il semblerait que l'on puisse d'ores et déjà mettre en évidence un effet bénéfique de l'utilisation de plantes compagnes du blé sur la faune terricole et notamment les Carabes et les Opilions (Tableaux III et IV). En effet, l'utilisation de féverole et de vesce comme plantes compagnes du blé semble être particulièrement intéressante pour les effectifs de Carabes, et ce, de manière significative. De même, les Opilions semblent significativement avantagés dans le blé associé (notamment dans la féverole et le pois).

Dans le 28 et le 36, il est en état difficile de mettre en évidence des effets significatifs et stables de l'utilisation de plantes-compagnes du blé sur les Carabes, les Araignées et les Staphylins. Toutefois les Opilions semblent là encore significativement avantagés dans le blé associé.

Enfin dans le 18, on observe un effet significatif et défavorable de l'utilisation de la féverole, du pois et de la vesce comme plantes-compagne du blé sur les Carabes et les Staphylins. L'origine de ces résultats contradictoires par rapport à ceux obtenus pour les autres départements serait à rechercher. Ici encore, les Opilions semblent encore significativement avantagés dans le blé associé.

De manière globale, il est important de souligner l'intérêt bénéfique de l'utilisation de plantes compagnes du blé sur la population d'Opilions et ce, peut importe le département concerné. Les associations blé-pois et blé-vesce, semblent particulièrement intéressantes. Omnivores, les Opilions sont détritivores, phytophages, mais également prédateurs d'insectes, de vers et d'escargots. Peut être que les couverts constituent au vu de leurs biologies un habitat favorable pour leur développement. Cette hypothèse serait à vérifier par une étude circonstanciée.

Il semble d'après nos relevés qu'il pourrait exister un lien entre l'abondance et la diversité de Carabes et l'état du couvert. Toutefois, cette hypothèse reste à démontrer statistiquement.

Nous attirons néanmoins l'attention du lecteur sur le fait que, au regard :

- du nombre peu importants de parcelles testées et de répétitions au sein de chaque département (seulement 4 semaines)
- du manque d'homogénéité de l'état des bandes
- du manque d'homogénéité des parcelles (en termes de localité, de taille, d'itinéraire technique, de type de sol, de paysage, etc.)
- du pas de temps de relevé inégal pour certains départements
- et le nombre important de facteurs externes non pris en compte

La robustesse des tests et des résultats associés pourrait être remise en cause. Il serait intéressant, lors des prochaines sessions d'expérimentations de sélectionner un plus grand nombre de parcelles pour chaque modalité testée (et qui soient relativement homogènes et avec un état et une qualité des bandes relativement homogènes au sein des différentes catégories testées), afin d'augmenter les chances de déceler les effets du type de culture (blé seul ou blé associé), vis-à-vis des effectifs de Carabidés, d'Araignées, d'Opilions et de Staphylins ainsi que

sur la diversité des Carabidés capturés, en améliorant la précision des estimations et en limitant la variabilité.

Tableau III. Résultats des analyses réalisées sur les effectifs et la diversité de Carabidés capturés selon les quatre modalités étudiées et en fonction des sites suivis. Les étoiles indiquent que les moyennes sont significativement différentes (« * » : significatif ; « ** » : très significatif ; « *** » : hautement significatif). Les résultats sont en rouge quand ils sont significatifs.

Département	Site	Effectif de Carabes	Diversité de Carabes
18	1	NS 0,09877	NS 0,7848
	2	0,01841* B0>B1	NS 0,2086
28	4	NS 0,3519	NS 0,5186
36	6	/	/
	7	/	/
45	8	NS 0,0638	NS 0,208
	9	0,001261** B1>B0	NS 0,1853
	10	<2,2 ^e -16*** B1>B0; B3>B0; B2<B1 et B3>B2	NS 0,5609

Tableau IV. Résultats des analyses réalisées selon les quatre modalités étudiées et en fonction des sites suivis. Les étoiles indiquent que les moyennes sont significativement différentes (« * » : significatif ; « ** » : très significatif ; « *** » : hautement significatif). Les résultats sont en rouge quand ils sont significatifs. Cpn= comparaison multiple nulle. Les chiffres soulignés indiquent quand la moyenne pour les modalités B1/B2 ou B3 sont supérieures à B0 (65% des cas).

Département	28	45	18	36
Eff. carabes	<u>NS 0,3519</u>	<u>0,0006328***</u> B1>B0; B2<B1 et B3>B0	<u>0,008346**</u> B0>B1	<u>descriptif</u>
Div. carabes	<u>NS 0,5186</u>	<u>NS 0,7318</u>	<u>NS 0,7282</u>	<u>descriptif</u>
Eff. araignées	<u>NS 0,401</u>	<u>NS 0,609</u>	<u>NS 0,4166</u>	<u>descriptif</u>
Eff. staphylins	<u>NS 0,346</u>	<u>NS 0,0147 cpn</u>	<u>NS 0,5274</u>	<u>descriptif</u>
Eff. opilions	<u>0,03286*</u> B1>B0	<u>0,0001105***</u> B1>B0 et B2>B0	<u>1,146^e-05***</u> B1>B0; B2>B0 et B2>B3	<u>descriptif</u>

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Durant cette année, l'étude de la faune terricole a permis la collecte de 10 373 arthropodes. Parmi ces spécimens, 633 étaient des Araignées, 6 647 des Carabidés, 161 des Staphylins et 2 932 des Opilions. Les Carabidés, insectes ciblés par l'étude, sont les mieux représentés.

La totalité des effectifs de Carabidés sont utiles à la régulation des organismes dans le sol à l'état larvaire. La majorité (98%) des Carabes sont des prédateurs opportunistes à l'état adulte, tandis que 2% des Carabes sont omnivores ou majoritairement phytophages. Ces résultats soulignent l'intérêt agronomique de cette famille de Coléoptères.

Les Carabidés sont majoritairement liés aux milieux ouverts ou ubiquistes. Cette distribution est typique des populations de grandes cultures céréalières.

Les analyses portant sur l'effet des cultures associées au blé sur la faune terricole indiquent ici un potentiel intérêt bénéfique de ces dernières sur les effectifs de Carabidés dans le 45 et sur les effectifs d'Opilions dans l'ensemble des départements. Ces résultats sont intéressants et encourageants pour la favorisation des auxiliaires en grandes cultures.

Il serait pertinent en 2023 de sélectionner un plus grand nombre de sites pour chaque modalité testée (et qui soient relativement homogènes et avec un état et une qualité des bandes relativement homogènes au sein des différentes modalités testées), afin d'augmenter les chances de déceler les effets des cultures associées et de discriminer les compositions les plus favorables, vis-à-vis des effectifs de Carabidés, d'Araignées, d'Opilions et de Staphylins ainsi que sur la diversité des Carabidés.

REMERCIEMENTS

Nous remercions Fanny Gagnepain-Germain, Julien Fleury et Samuel Prunot qui ont participé aux analyses de laboratoire ; Fanny Gagnepain-Germain et Abdelhak Rouabah pour la réalisation de clichés illustrant le rapport ; Pascal Rousse pour l'identification de spécimens.

Enfin, merci à nos partenaires avec qui nous avons collaboré durant cette étude : la Chambre régionale de la région Centre – Val de Loire (Céline Cervek, Thierry Bordin), la FDGEDA 18 (Guillaume Houivet), la Chambre d'agriculture du Loiret (Jean Guérineau), la Chambre d'agriculture de l'Indre (Clara Hay), la SCAEL (Thierry Manceau), AGROCAMPUS Ouest (Bruno Jaloux) et la FREDON (Marie-Pierre Dufresne, Monique Chariot, Louise Belamy, Gautier Hoellard et Léonore Gosselin (stagiaires M1 FREDON)).

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BARBER H.S., 1931. – Traps for cave-inhabiting insects. *Journal of the Mitchell Society*, 259-267.
- BOUT A., DIWO-ALAIN S. & ARNAUD I., 2006. – Impact des pratiques culturales sur la biodiversité des grandes cultures. Application aux Coléoptères Carabidae en Touraine. *Symbioses*, 17 : 59-63.
- BOYER F., ULRYCH R., SELLAM M. & LEJEUNE V., 2017. – *Les auxiliaires des cultures : biologie, écologie, méthodes d'observation et intérêt agronomique*. ACTA Editions, 263 p.
- BULAN C.A. & BARRETT G.W., 1971. – The effects of two acute stresses on the arthropod component of an experimental grassland ecosystem. *Ecology*, 52(4) : 597-605.
- COULON J., PUIPIER R., QUEINNEC E., OLLIVIER E. et RICHOUX P., 2011. – *Coléoptères Carabiques, compléments et mise à jour, vol 1 et 2*. Faune de France 94 et 95. Fédération française des Sociétés de Sciences naturelles, 520 p.
- DAJOZ R., 1989. – Les Coléoptères Carabidae d'une région cultivée à Mandres-les-Roses (Val-de-Marne). *Cahiers des Naturalistes, Bulletin des naturalistes parisiens*, 45 (2) : 25-37.
- GEORGES A., 2004. – Les Coléoptères Carabidés comme indicateurs dans le diagnostic écologique et la gestion des prairies humides. *Symbioses*, 11 : 9-14.
- KOTZE D.J., BRANDMAYR P., CASALE A., DAUFFY-RICHARD E., DEKONINCK W., KOIVULA M.J., LÖVEI G.L., MOSSAKOWSKI D., NOORDIJK J., PAARMANN W., PIZZOLOTTO R., SASKA P., SCHWERK A., SERRANO J., SZYSZKO J., TABOADA A., TURIN H., VENN S., VERMEULEN R. et ZETTO T., 2011. – Forty years of carabid beetle research in Europe - from taxonomy, biology, ecology and population studies to bioindication, habitat assessment and conservation. *Zookeys*, 100 : 55-148.
- KROMP B., 1999. – Carabid beetles in sustainable agriculture: a review on pest control efficacy, cultivation impacts and enhancement. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 74 : 187-228.
- LAROCHELLE A., 1990. – The food of carabid beetles (Coleoptera: Carabidae, including Cicindelinae). *Fabrereries Supplement*, 5 : 1-132.
- MILLÁN DE LA PEÑA N., BUTET A., DELETTRE Y., MORANT P. & BUREL F., 2003. – Landscape context and carabid beetles (Coleoptera: Carabidae) communities of hedgerows in western France. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 94 : 59-72.
- R CORE TEAM, 2016. – RStudio: Integrated Development for R. RStudio, Inc., Boston, MA URL <http://www.rstudio.com/>.
- RAINIO J. & NIEMELA J., 2003. – Ground beetles (Coleoptera: Carabidae) as bioindicators. *Biodiversity and Conservation*, 12 : 487-506.
- SASKA P. et HONEK A., 2004. – Development of the beetle parasitoids, *Brachinus explotens* and *B. crepitans* (Coleoptera: Carabidae). *Journal of Zoology (London)*, 262 : 29-36.
- SHELLER 1984. – The role of ground beetles (Carabidae) as predators on early populations of cereal aphids in spring barley. *Journal of Applied Entomology*, 97 (1-5) : 451-463.

ANNEXES

Annexe 1. Liste des insectes recensés lors de l'expérimentation en 2021.

Annexe 1. Liste des insectes recensés lors de l'expérimentation en 2021.

Déterminateur : Jean-David Chapelin-Viscardi, Fanny Gagnepain-Germain, Julien Fleury et Samuel Prunot.

Coléoptères Carabidés

Ordre	Famille	Espèce	Effectif
Coleoptera	Carabidae	Acupalpus meridianus (Linnaeus, 1761)	2
Coleoptera	Carabidae	Agonum muelleri (Herbst, 1784)	1
Coleoptera	Carabidae	Amara aenea (De Geer, 1774)	12
Coleoptera	Carabidae	Amara apricaria (Paykull, 1790)	3
Coleoptera	Carabidae	Amara consularis (Duftschmid, 1812)	4
Coleoptera	Carabidae	Amara similata (Gyllenhal, 1810)	69
Coleoptera	Carabidae	Anchomenus dorsalis (Pontoppidan, 1763)	21
Coleoptera	Carabidae	Asaphidion curtum (Heyden, 1870)	1
Coleoptera	Carabidae	Asaphidion grp flavipes	1
Coleoptera	Carabidae	Badister sodalis (Duftschmid, 1812)	3
Coleoptera	Carabidae	Bembidion lampros (Herbst, 1784)	17
Coleoptera	Carabidae	Bembidion lunulatum (Geoffroy, 1785)	1
Coleoptera	Carabidae	Bembidion obtusum Audinet-Serville, 1821	22
Coleoptera	Carabidae	Bembidion properans (Stephens, 1828)	5
Coleoptera	Carabidae	Brachinus sclopeta (Fabricius, 1792)	34
Coleoptera	Carabidae	Calathus cinctus Motschulsky, 1850	2
Coleoptera	Carabidae	Calathus fuscipes (Goeze, 1777)	68
Coleoptera	Carabidae	Calathus gr. melanocephalus	7
Coleoptera	Carabidae	Carabidae sp.	0
Coleoptera	Carabidae	Harpalus affinis (Schrank, 1781)	8
Coleoptera	Carabidae	Harpalus dimidiatus (Rossi, 1790)	2
Coleoptera	Carabidae	Harpalus distinguendus (Duftschmid, 1812)	11
Coleoptera	Carabidae	Leistus spinibarbis (Fabricius, 1775)	8
Coleoptera	Carabidae	Loricera pilicornis (Fabricius, 1775)	1
Coleoptera	Carabidae	Nebria brevicollis (Fabricius, 1792)	13
Coleoptera	Carabidae	Nebria salina Fairmaire & Laboulbène, 1854	5467
Coleoptera	Carabidae	Nebria sp.	3
Coleoptera	Carabidae	Notiophilus aestuans Dejean, 1826	1
Coleoptera	Carabidae	Notiophilus biguttatus (Fabricius, 1779)	49
Coleoptera	Carabidae	Notiophilus quadripunctatus Dejean, 1826	57
Coleoptera	Carabidae	Notiophilus rufipes Curtis, 1829	3
Coleoptera	Carabidae	Notiophilus substriatus G.R. Waterhouse, 1833	16
Coleoptera	Carabidae	Poecilus cupreus (Linnaeus, 1758)	120
Coleoptera	Carabidae	Pseudoophonus rufipes (De Geer, 1774)	2
Coleoptera	Carabidae	Pterostichus melanarius (Illiger, 1798)	29
Coleoptera	Carabidae	Scybalicus oblongiusculus (Dejean, 1829)	12
Coleoptera	Carabidae	Trechus quadristriatus (Schrank, 1781)	571
Coleoptera	Carabidae	Trechus sp.	1

Autres insectes

ORDRE	FAMILLE	ESPECE	EFFECTIFS
ARANEAE	NA	NA	633
COLEOPTERA	Staphylinidae	Staphylinidae sp.	161
OPILIONES	NA	NA	2932



Carabus auratus (cliché J.-D. Chapelin-Viscardi).