



**HAL**  
open science

# Évaluation du niveau de régulation biologique des adventices par les Carabidés

Antoine Lubac

► **To cite this version:**

Antoine Lubac. Évaluation du niveau de régulation biologique des adventices par les Carabidés. Sciences de l'environnement. 2014. hal-01835518

**HAL Id: hal-01835518**

**<https://hal.univ-lorraine.fr/hal-01835518>**

Submitted on 11 Jul 2018

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



## AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : [ddoc-memoires-contact@univ-lorraine.fr](mailto:ddoc-memoires-contact@univ-lorraine.fr)

## LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10

[http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg\\_droi.php](http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php)

<http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm>



Projet  
**CASIMIR**



Agroécologie  
Dijon  
Unité de Recherche



INRA  
SCIENCE & IMPACT



**Ingénieur à l'Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie et des Industries  
Alimentaires**

Spécialité Agriculture et Développement du Territoire

**Master FAGE**

Biologie et Ecologie pour la Forêt, l'Agronomie et l'Environnement

Spécialité

Fonctionnement et Gestion des Agrosystèmes option Agroécologie

**Évaluation du niveau de régulation biologique des  
adventices par les Carabidés**

**Antoine Lubac**

Mémoire de stage soutenu à Nancy le 03/09/2014

Maîtres de stage

**Sandrine Petit** : Directeur de recherche

**Stéphane Cordeau** : Chargé de recherche

Tuteurs universitaires

**Agnès Fournier** : Ingénieur de recherche

**Sylvain Plantureux** : Professeur, directeur de recherche

Structure d'accueil : INRA Dijon UMR 1347 Agroécologie



I)	Introduction .....	1
1)	Etat des lieux de l'agriculture .....	2
2)	L'agroécologie et les systèmes de culture innovants .....	2
a)	Gestion innovante de la flore adventice.....	3
b)	Les carabidés comme prédateurs de graines d'adventices .....	4
c)	Les pratiques agricoles affectent les communautés de carabidés et la prédation des graines d'adventices.....	6
3)	Le projet de recherche CASIMIR .....	7
4)	Objectifs du stage .....	8
III)	Matériels et Méthodes .....	8
1)	Les sites et les systèmes de culture .....	8
2)	Mesures .....	10
a)	La flore adventice .....	9
b)	Les carabidés .....	10
c)	Prédation des graines d'adventices.....	10
3)	Analyse de données .....	12
a)	Analyse des communautés .....	12
b)	Analyse de la prédation .....	12
IV)	Résultats.....	13
1)	Effet des systèmes de culture sur les communautés adventices.....	13
a)	Analyse de la structure des communautés adventices .....	13
b)	Analyse de la composition des communautés adventices .....	14
2)	Effets des systèmes de culture sur les communautés de carabidés.....	15
a)	Analyse de la structure des communautés de carabidés.....	15
b)	Analyse de la composition des communautés de carabidés.....	17
3)	Quel effet des systèmes de culture sur la prédation .....	18
V)	Discussion.....	21
1)	La culture est le facteur majeur qui structure les communautés et influe sur la prédation des graines d'adventices .....	21
2)	Un effet région observé sur les communautés.....	22
3)	La difficulté de mettre en évidence un effet des systèmes de culture.....	22
VI)	Conclusion et limites de l'étude .....	23
VII)	Référence bibliographique .....	24
	Annexes.....	i

## Remerciements

---

Pour ce stage j'aimerais tout d'abord remercier mes encadrants Sandrine Petit et Stéphane Cordeau qui m'ont donné leur confiance pour ce stage et qui étaient toujours très disponibles lorsque j'avais des questions avec toujours de bons conseils, et qui ont passé beaucoup de temps à relire mon rapport les dernières semaines.

Je souhaiterais aussi remercier Morgane Froger qui a su réussir à organiser un réseau de 8 stagiaires à travers la France avec les problèmes et questions de chacun à gérer mais aussi pour ses conseils, son aide sur le terrain, et son soutien en général.

Merci à Cyril et Benoît qui m'ont beaucoup aidé pour préparer le protocole, et à Chantal, Morgane Therry et James pour toute cette aide sur le terrain.

Merci à Sarah et James pour leurs conseils respectifs en carabes et en stats et pour leur soutien en général.

Et enfin un grand merci à toute l'équipe et notamment les jeunes (ceux qui ont eu le droit à des arlequins pendant l'exercice de sécurité à incendie), Ophélie, Sarah, Alexia, Alice, Annette, Coralie, Violaine, Nawel, Morgane (les 3), James, Florent\*, Rémi\*, Martin, Quentin, Julien, Seb et les autres avec qui j'ai vraiment passé de très bon moments.

\*mention spéciale pour l'organisation du « bière time » tous les vendredis soir.

Bonne lecture.

## I) Introduction

---

L'agriculture conventionnelle se basant sur une utilisation importante d'intrants (produits phytosanitaires, fertilisants, eau) et d'énergie a permis à l'Europe d'atteindre la sécurité alimentaire et de s'imposer comme un acteur mondial du commerce de produits agricoles. Cependant cette agriculture est remise en cause dans un contexte actuel de raréfaction des matières premières et de prise de conscience du coût environnemental de ce type d'agriculture. De nombreux systèmes de culture économes en produits phytosanitaires sont donc étudiés mais où la gestion de la flore adventice reste encore difficile. Des systèmes de culture innovants combinent des leviers de la protection intégrée des cultures (rotation, travail du sol, diversité variétale...) pour gérer la flore adventice en réduisant l'usage des herbicides. La mise en place d'une agriculture redonnant une place centrale aux services fournis par les écosystèmes paraît être une solution encourageante, on parle alors d'agroécologie. Ainsi, les régulations biologiques sont un moyen complémentaire pour gérer les bioagresseurs de cultures. C'est pourquoi les carabidés, en tant que coléoptères potentiellement mangeurs de graines, peuvent alors apporter une solution complémentaire à la gestion non chimique des adventices. Cependant la prédation des graines d'adventices par les carabidés est influencée par de nombreuses pratiques agricoles. **Ce stage vise à montrer si les systèmes de culture économes en pesticides modifient les communautés de flore adventice et de carabidés de tel sorte que la prédation des graines d'adventices par les carabidés en soit changée.**

Ce rapport sera tout d'abord introduit par l'état de l'art sur l'agroécologie, les communautés d'adventices et de carabidés et la prédation des graines. Dans un deuxième temps seront présentés les matériels et méthodes puis l'analyse des résultats qui seront ensuite discutés dans une dernière partie.

Ce projet a été réalisé à L'institut National de le Recherche Agronomique à l'UMR 1347 Agroécologie de Dijon. Le but de cette unité est d'étudier les interactions biotiques au sein des agrosystèmes afin de concevoir des systèmes de culture innovants respectueux de l'environnement. Ce stage s'inscrit dans le pôle Écologie des Communautés et Durabilité des Systèmes Agricoles dont le but est d'étudier le fonctionnement des agro-écosystèmes à travers les communautés et leurs interactions pour concevoir et évaluer des systèmes de production durable. J'ai ainsi été à la fois intégré dans l'équipe SYTEME qui analyse les systèmes de culture et dans l'équipe CAPA (Communauté adventices en interaction dans les paysages agricoles) qui étudie les processus élémentaires impliqués dans l'assemblage, la structure et la dynamique des communautés adventices

## II) Etat de l'art

---

### 1) Etat des lieux de l'agriculture

Après la deuxième moitié du 20<sup>ème</sup> siècle l'objectif prioritaire de la France et de l'Europe nouvellement réunifiée était d'atteindre la sécurité alimentaire. Grâce à la Politique Agricole Commune en 1957 permettant d'aider la production agricole avec des aides couplées et grâce à la recherche et au développement, de nouvelles techniques agricoles plus intensives et mécanisées se sont généralisées dans le paysage agricole européen (Desriers, 2007). Ainsi, cette mutation de l'agriculture, qualifiée de révolution verte, a permis aux agriculteurs d'atteindre des rendements inégalés qui ont assuré à la France la sécurité alimentaire et d'importantes exportations C'est la révolution verte. Cependant cette agriculture dite conventionnelle a montré ses limites. Entre les productions parfois trop élevées débouchant sur la mise en place de quotas, la concurrence des pays émergents sur les produits agricoles de faible qualité, et les défis environnementaux telle la pollution des sols et des cours d'eau par les intrants chimiques, ainsi que l'érosion des sols et de la biodiversité, il paraît urgent de réformer nos modes de production pour produire mieux. Il est ainsi nécessaire de produire une alimentation plus saine, de meilleure qualité et avec une meilleure valeur ajoutée tout en diminuant les externalités négatives sur l'environnement, c'est la révolution doublement verte (Conway, 1999).

L'un de ces enjeux majeurs est la réduction de l'utilisation des produits phytosanitaires. En effet ceux-ci sont, avec les nitrates, le polluant majeur de l'eau en France. Ainsi, d'après le Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie, en 2012 près de 88% des points d'eau en surface ne permettaient pas de produire de l'eau potable sans traitement. Outre les problèmes sanitaires et environnementaux, l'efficacité à long terme de ces produits est remise en cause par l'apparition de résistances chez les adventices (Délye, 2011).

### 2) L'agroécologie et les systèmes de culture innovants

Une des solutions envisagée est l'agroécologie. On la définit généralement comme l'application de concepts et de principes écologiques à la conception et à la gestion d'agrosystèmes durables, transformant l'agrosystème en agroécosystème. L'exploitation agricole est alors considérée comme une population de différentes cultures/plantes/animaux qui interagissent entre eux, l'agriculture ne regardant que les mauvaises interactions quand l'agroécologie regarde aussi les bénéfiques (Gliessman, 2004). Pour ce faire l'agroécologie promeut la fusion des sciences de l'agronomie et de l'écologie afin d'étudier, concevoir et gérer des agroécosystèmes durables et des ensembles de pratiques basées sur des processus naturels en alimentant les connaissances techniques par l'expérience des agriculteurs locaux et le savoir-faire paysan (De Schutter, 2011). Pour d'autres auteurs l'agroécologie a aussi une dimension sociale. Elle doit permettre de réduire la pauvreté rurale, de nourrir les populations des différents pays de façon équitable avec un bon apport nutritionnel et de promouvoir la culture intrinsèque aux différentes pratiques agricoles régionales

(Altieri, 2011). Les principaux leviers considérés étant la diversification des variétés dans l'espace et le temps, l'intégration plante-animal, le recyclage des nutriments et de l'énergie, l'éducation, l'accès au foncier, l'amélioration de l'efficacité des intrants, ou encore la substitution des intrants par des pratiques alternatives en accord avec la préservation de l'environnement. La plupart de ces leviers s'appuyant sur la notion de services écosystémiques.

Le concept de service écosystémique a été publié en 2005 après le Millenium Ecosystem Assesment (Waler, 2005). Il était l'idée que la diversité biologique soutient le fonctionnement des écosystèmes et fournit des services écosystémiques essentiels au bien-être humain. En effet, les écosystèmes permettent, via leurs processus et leurs fonctions, de produire des services, c'est-à-dire des bienfaits, à l'humanité (Müller *et al.*, 2010). On définit alors les services de soutien, qui regroupent notamment le cycle des éléments nutritifs comme le carbone ou l'azote, la production primaire ou encore la formation des sols, et qui sont à l'origine de trois autres types de services : les services d'approvisionnement tels que la production de nourriture, d'eau potable, d'énergie, d'air pur, et de ressource génétique, les services de régulation comme la régulation du climat ou des maladies, et enfin les services dit culturels tels que la spiritualité, l'éducation et le divertissement. Ces services pourvoient ainsi santé, sécurité, cohésion sociale et matériaux à l'humanité (Carpenter *et al.*, 2009, Costanza 1997). Si ces services sont déjà utilisés en agriculture conventionnelle avec par exemple l'épandage d'engrais, la couverture du sol, les rotations, ou l'utilisation de légumineuses, ils sont toutefois sous exploités. Le but de l'agroécologie est alors de maximiser ces services en transformant l'agriculture traditionnelle en agriculture écologiquement intensive.

#### **a) Gestion innovante de la flore adventice**

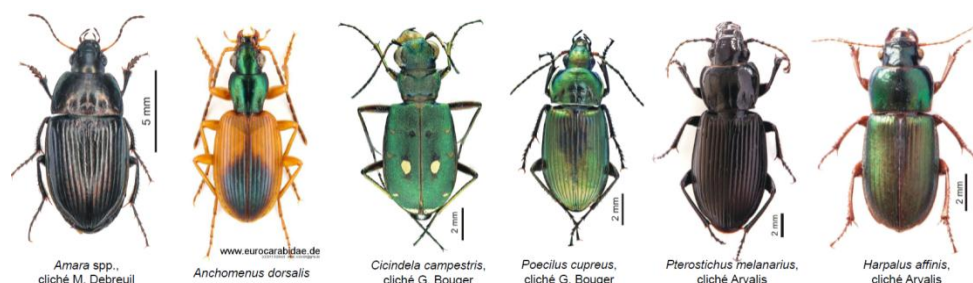
Pour diminuer la part des produits chimiques dans l'agriculture d'aujourd'hui, une des solutions consiste à opter pour la protection intégrée qui permet notamment de diminuer la dépendance aux herbicides (Chikowo *et al.*, 2009). Les systèmes conduits en protection intégrée sont définis comme des « systèmes de lutte contre les organismes nuisibles qui utilisent un ensemble de méthodes satisfaisant les exigences à la fois économiques, écologiques et toxicologiques, en réservant la priorité à la mise en oeuvre délibérée des éléments naturels de limitation et en respectant les seuils de tolérance » (Définition de IOILB/SROP, 1973). Au sein de ces nuisibles, les adventices figurent probablement parmi ceux dont la lutte est la plus délicate. Ces mauvaises herbes regroupent l'ensemble de la végétation herbacée non semée cohabitant avec l'espèce cultivée directement nuisible par compétition ou indirectement par son rôle de réservoir de bioagresseur. Les adventices sont sujets à une forte variabilité. On observe ainsi une très grande variabilité interspécifique (de nombreuses plantes aux caractéristiques très différentes), intraspécifiques (chaque plante n'atteint pas les mêmes stades), spatiale (différences de populations entre les parcelles) et temporelle (fluctuation du nombre d'espèce émergent chaque année). De plus la gestion des adventices se fait sur le long terme du fait de leur persistance dans le sol sous forme de graines (pour les espèces annuelles) ou d'organes de réserve (pour les vivaces) (Dessaint, *et al.* 1991). Pour lutter contre ces



adventices, il faut à la fois réduire le potentiel d'infestation (banque de graines), éviter les périodes de levée préférentielles de ces plantes, détruire les plantules et limiter la croissance des individus restants (Munier-Jolain, 2008). Pour ce faire plusieurs pratiques culturales existent. Par exemple, la rotation, quand elle se traduit par l'augmentation de la diversité des cultures, permet diminuer les populations d'adventices, le semis direct sélectionne les espèces qui investissent préférentiellement dans leur maintien via le développement des racines au détriment de la production de graines (Trichard *et al.*, 2014), les mulchs vivants peuvent entrer en compétition avec les adventices s'ils sont cultivés à la bonne période (De Tourdonnet, Shili et Scopel, 2008), et surtout le travail du sol permet de les détruire mécaniquement mais aussi de modifier le positionnement des organes reproducteurs et végétatifs telles que les graines pouvant alors les mettre dans des conditions favorables ou défavorables pour la germination. Enfin, le décalage du semis de la culture peut, dans certain cas, défavoriser les populations d'adventices. De plus, une autre solution complémentaire, habituellement utilisée contre les ravageurs, peut aussi être envisagée pour lutter contre les adventices : l'utilisation d'auxiliaires de culture.

### b) Les carabidés comme prédateurs de graines d'adventices

Les carabidés sont des insectes de l'ordre des coléoptères et du sous ordre des *adephaga* qui regroupe aussi les dytiques et gyrins (Boursault et Petit, 2010), et de nos jours plus de 40000 espèces ont été décrites dont 2700 en Europe et 1500 en France (Kromp, 1999). La majorité des carabidés adultes des régions tempérées vie à la surface du sol, avec une période d'activité principalement nocturne (Kromp, 1999 : Dajoz, 2002). Les adultes se reproduisent au printemps ou en automne au rythme d'une génération par an et peuvent vivre plusieurs saisons en passant l'hiver dans des refuges (Boursault et Petit, 2010). Quant aux larves elles demeurent dans le sol pendant 1 an mais jusqu'à 4 ans dans des conditions climatiques difficiles (Dajoz, 2002). Les carabidés ont réussi à coloniser des habitats variés tels que les forêts, les zones humides, les prairies et bien sur les milieux agricoles où l'on trouve généralement 30 à 55 taxons différents sur un même agrosystème (Chapelin-Viscardi, 2011).



**Photo 1 : Exemple de différents carabidés fréquemment rencontrés en milieu agricole (Chapelin-Viscardi, 2014).**

Les larves de carabidés sont carnivores à 90%. Elles se nourrissent d'œufs, de limaces, d'escargots, d'insectes ou d'autres carabidés. Les adultes sont soit majoritairement carnivores (et s'attaquent alors aux mêmes proies que les larves), soit omnivores, soit majoritairement phytophages (essentiellement granivores). De manière générale les carabidés adultes sont très opportunistes et n'hésitent pas à varier leur système alimentaire en fonction des ressources disponibles et de la période de l'année (Dajoz, 2002). On estime que la mortalité des graines d'adventices disséminées est le facteur influençant le plus leur cycle de vie puisque que 70 à 99% d'entre elles n'atteindront pas le stade plantule (Westermann, 2006). Un levier biologique permettant de jouer sur ce facteur est donc intéressant et c'est pourquoi on constate depuis une dizaine d'année une forte augmentation du nombre de publications portant sur la granivorie des carabidés. Il reste alors à savoir si les carabidés sont capable de diminuer significativement la banque de graine du sol, c'est-à-dire l'ensemble des graines qui seront capables de germer à la saison suivante, alors que de multiples facteurs entrent en jeu (**encart 1**).

**Encart 1 : facteurs influençant la banque de graines**

La quantité de graines du sol qui seront potentiellement capables de germer à la saison suivante dépend de plusieurs éléments. Elle résulte de la quantité de graines produites, de l'état des graines sur la plante (détérioration par le froid ou par des ravageurs par exemple), du nombre de graines s'étant disséminées dans un environnement propice à leur germination, du taux de prédation de ces graines à la surface du sol et enfin de leur disposition dans le sol (un enfouissement donné pouvant être propice ou non à la germination).

D'après Westermann, 2006.

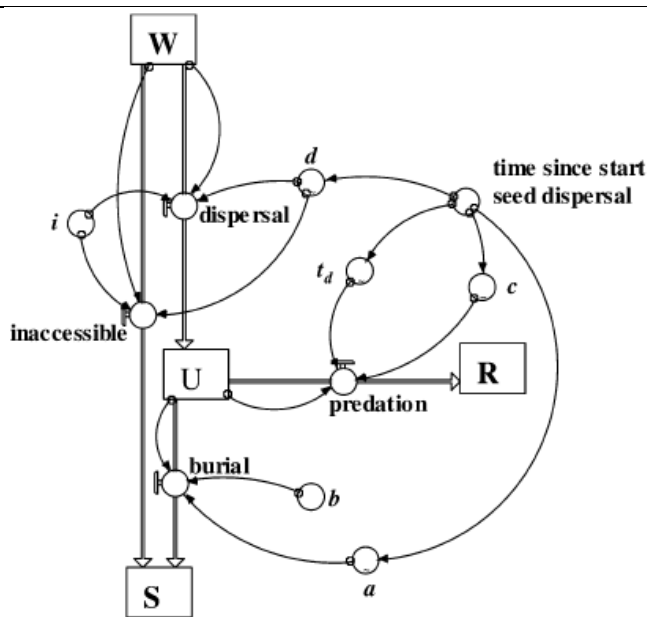
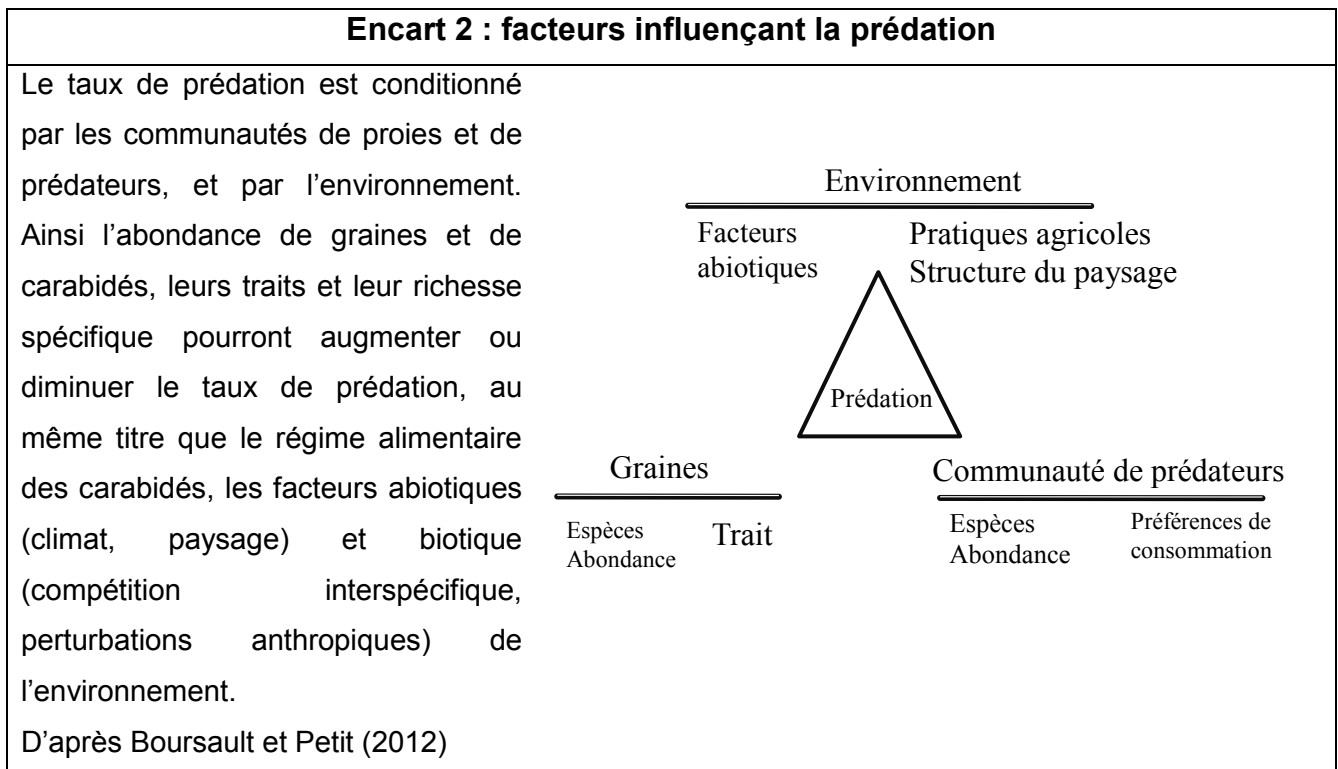


FIGURE 5. Flow diagram illustrating the dynamics of weed seeds on the soil surface within a cropping season. Boxes represent the state variables for seeds on weed plants (*W*), seeds on the soil surface (*U*), seeds in the seed bank (*S*), and seeds removed and consumed by predators (*R*). The valves represent the dispersal, burial, and predation rates; and the circles represent intermediate variables, the relative dispersal rate, *d*, relative burial rate, *b*, etc. The block arrows represent flows of seed, and the line arrows flows of information. For further explanation of the symbols, see text.

Certaines études ont montrées que 22 à 28% des graines sont prédatées et ce principalement à cause des invertébrés (plus de 80% de la prédation) et en particulier des carabidés (plus de 50% de la prédation) (Cromar, 1999). Ainsi il est concevable de considérer que la prédation des carabidés permet de réduire significativement la banque de graine des adventices en consommant les graines à la surface du sol (Bohan, 2011).

**c) Les pratiques agricoles affectent les communautés de carabidés et la prédation des graines d'adventices.**

La prédation est un processus complexe qui dépend de nombreux facteurs (**encart 2**) parmi lesquels les modifications anthropiques jouent un rôle très important en particulier dans les milieux agricoles, on pourra par exemple citer le travail du sol, l'utilisation de produits phytosanitaires, la culture, le couvert végétal, ou encore les rotations.



Le travail du sol est un des facteurs majeurs influençant les communautés de carabidés. Un travail profond aura généralement tendance à diminuer leur abondance, en augmentant notamment la mortalité des larves, même si parfois des effets contraires ont été observés suivant la région et la date de labour (Rabourdin, et al., 2011), alors qu'un travail du sol superficiel ou absent aura tendance à augmenter la richesse spécifique notamment en favorisant des espèces à la reproduction printanière ainsi que des espèces consommatrices de graines comme les *Harpalus* (Kromp, 1999). De même, le travail du sol, en modifiant la disponibilité des graines et les communautés de carabidés aurait des effets sur leur prédation (Boursault et Petit, 2012). Ainsi, Cromar (1999) a montré que le taux de prédation des graines d'adventices allait de 24% pour les systèmes avec labour à 32% pour les systèmes avec travail superficiel du sol, là où (Menalled et al., 2007) ont observé une prédation deux fois plus importante pour les systèmes de culture sans labour.

L'influence des produits phytosanitaires est elle aussi importante puisqu'on observerait une richesse spécifique 20% plus importantes dans les habitats non traités avec en particulier plus d'espèces granivores (du genre *Harpalus* et *Amara*) dans les systèmes sans herbicides (Kromp, 1999). La prédation des graines diminuerait alors elle aussi dans les systèmes les plus riches en pesticides (Trichard et al., 2014).

Enfin, d'autres effets des pratiques agricoles ont été décrits dans la bibliographie. Les rotations par exemple augmentent la diversité des carabidés (Kromp, 1999), et la culture est un facteur déterminant de la répartition des carabidés (Rabourdin, Dor et Maizeret, 2011) dont l'émergence serait plus importante dans les cultures d'hiver (Collard 2011) et l'activité plus forte dans le colza (Eyre, et al., 2012). De plus le type de culture, en modifiant le microclimat et les ressources en nourriture, serait à l'origine de variations du taux de prédation (Gallandt et al., 2005). De la même manière le type de résidus de culture modifie la prédation des graines d'adventices. Elle est par exemple plus élevée dans le maïs, puis dans le blé et moins élevée dans le soja.

### 3) Le projet de recherche CASIMIR

Dans ce contexte de réduction de l'utilisation des produits phytosanitaires le gouvernement a mis en place, lors du Grenelle de l'environnement en 2008, le plan Ecophyto2018 dont le but est de réduire l'usage de ces produits de 50%, si possible d'ici 2018, tout en maintenant un niveau élevé de production agricole tant en quantité qu'en qualité. L'un des quatre objectifs de ce plan est d'expérimenter en concevant des systèmes de culture moins consommateurs de produits phytosanitaires à l'aide du réseau DEPHY, un vaste réseau de fermes et de sites expérimentaux.

Le projet CASIMIR : Développements méthodologiques pour une **CA**aractérisation **SIM**plifiée des pressions biotiques et des **R**égulations biologiques a été sélectionné sur l'appel à projet Pour et Sur le Plan Ecophyto (PSPE). Ce projet vise deux objectifs sur le réseau DEPHY. Le premier, acquérir des connaissances sur les bioagresseurs ainsi que sur leurs dégâts et leur intensité et quantifier les régulations biologiques. Le deuxième, s'assurer de la validité des systèmes de culture grâce à la caractérisation des pressions biotiques, de juger la faisabilité et les conséquences agronomiques et sanitaires des systèmes de culture mis en œuvre et de sensibiliser les agriculteurs à l'observation des bioagresseurs et à leur régulation naturelle. Pour ce faire le projet CASIMIR dispose de 3 ans pour concevoir, tester et diffuser des protocoles d'évaluation des bioagresseurs et de leur régulation biologique à plusieurs niveaux de précision pour les réseaux DEPHY FERME qui rassemble les agriculteurs partenaires et DEPHY EXPE qui réunis les unités expérimentales. C'est donc dans cette optique que s'est déroulé ce stage de fin d'études et c'est pourquoi les protocoles seront mis en place dans le réseau de parcelle sans pesticides Rés0pest intégré au réseau DEPHY et présent dans toute la France pour les besoins du projet CASIMIR, mais aussi dans les parcelles du réseau PIC (Protection Intégrée des Cultures) à Dijon pour comparer différents systèmes de culture.

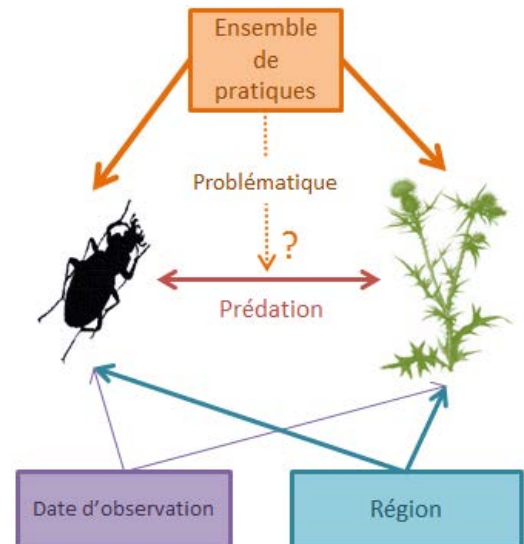
#### 4) Objectifs du stage

Le but de ce stage est donc de répondre à la question suivante : **les systèmes de culture économes en produits phytosanitaires permettent-ils, par des modifications des communautés de flore adventice et de carabidés, de favoriser la prédation des graines d'adventices par les carabidés, et si oui lequel de ces systèmes la favorise le plus ?**

On peut s'attendre à observer une richesse et une abondance de flore adventice inversement proportionnelle au gradient d'herbicides utilisés dans ces systèmes de cultures. Une même tendance, mais plus atténuée, devrait être observée en fonction du nombre de travaux du sols effectués et de la longueur des rotations. La flore adventice devrait aussi être plus développée dans les cultures de printemps que dans les cultures d'été.

On peut penser que la richesse et l'activité-densité des carabidés sera plus faibles dans les systèmes avec beaucoup d'insecticides tout comme dans les systèmes avec beaucoup de travail du sol, avec une prépondérance de ce dernier effet et une certaine sélectivité sur les carabidés granivores.

Enfin on peut émettre l'hypothèse que la prédation sera la plus importante dans les systèmes avec les communautés de flore adventice et de carabidés les plus développées c'est-à-dire dans les systèmes de culture avec le moins de pesticides et de travail du sol. On peut aussi supposer que la prédation sera plus importante dans les cultures d'hiver.

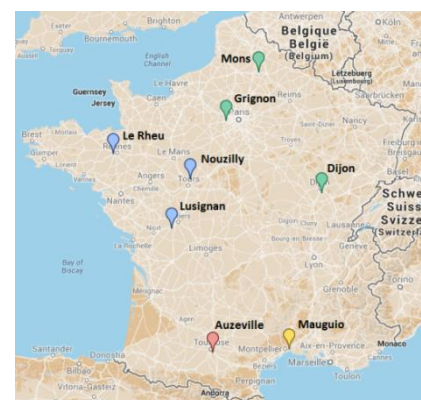


**Figure 1 : Relations attendues entre carabidés, adventices et pratiques agricole. L'épaisseur de la flèche traduit l'importance de la relation**

### III) Matériels et Méthodes

#### 1) Les sites et les systèmes de culture

L'étude a été mise en place sur 28 parcelles réparties sur 8 unités expérimentales INRA (**Figure2**) dans différents types de climats (**Annexe 1**). Seules les 22 parcelles où une quantité suffisante d'information a été collectée seront prises en compte dans ce rapport dont 13 étaient cultivées en céréales d'hiver (blé, orge ou triticale), 6 en colza, 2 en soja et une en tournesol (**Annexe 1**). Les parcelles choisies étaient cultivées suivant 8 systèmes de cultures. Les systèmes PIC (Dijon, Epoisses) sont 5 systèmes dont le but est d'étudier la protection intégrée des cultures contre les adventices et conduits suivant un gradient



**Figure 2 : carte des sites expérimentaux regroupés suivant leur type de climat**

d'utilisation des herbicides allant d'une forte utilisation (S1) à leur proscription (S5) et des rotations différentes (l'ensemble des systèmes S2 à S5 est conduit suivant la rotation Colza d'hiver - Céréale d'hiver – Culture de printemps – Céréale d'hiver – Culture d'été – Céréale d'hiver).

**Système S1 : conventionnel** (utilisation raisonnée d'herbicide) avec une rotation courte en colza-blé-orge d'hiver.

**Système S2 : protection intégrée sans labour.** Très peu de travail du sol, pas de désherbage mécanique, et semis direct. Très dépendants des herbicides (anti-graminées), et arrosage interdit.

**Système S3 : protection intégrée sans désherbage mécanique.** Pas de contraintes sur le travail du sol sauf pour le désherbage mécanique qui est interdit en cours de culture.

**Système S4 : protection intégrée typique.** Mobilise l'ensemble des moyens agronomiques pour lutter contre les adventices y compris le désherbage mécanique et éventuellement les herbicides.

**Système S5 : extrême sans herbicides.** Le travail du sol est autorisé ainsi que tous les intrants sauf les herbicides. L'arrosage est proscrit.

**Les systèmes Rés0pest** sont des systèmes de culture mis en place depuis 2012 où les **produits phytosanitaires sont interdits** mais qui autorisent le travail du sol. La rotation sur Rés0pest dure 7 ans (sur Epoisses : Colza d'hiver – Blé tendre d'hiver – Soja – Blé tendre d'hiver – Orge de printemps – Chanvre – Céréale associée à une protéagineuse)

**Le système PHPE, productif à hautes performances environnementales** est un système qui réduit l'utilisation de la fertilisation azotée, de produits phytosanitaires et la consommation d'énergie fossile en limitant le travail du sol. La rotation se déroule sur 5 ans : Féverole d'hiver – Blé tendre d'hiver – Colza d'hiver – Blé tendre d'hiver – Orge de printemps.

**Le Système GES-** vise à **réduire la consommation des gaz à effet de serre de moitié.** Il est similaire au système PHPE mais autorise le travail du sol seulement avant le maïs. La rotation est sur 6 ans : Colza d'hiver – Blé tendre d'hiver – Orge d'hiver – Maïs – Triticale – Féverole de printemps.

On constate que les systèmes utilisant le moins d'herbicides sont ceux avec le plus de travail du sol (**Figure 3**).

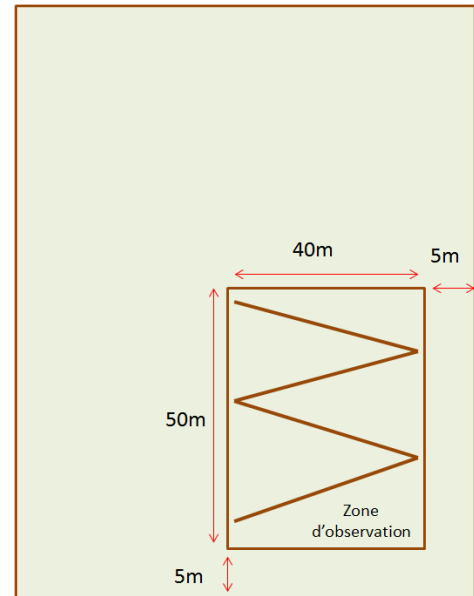
Système	Site	Nombre de parcelles étudiées	Insecticides	Herbicides	Travail du sol
S1	Dijon	2	+++	+++	++
S2	Dijon	2	++	++	+
S3	Dijon	2	++	+	+++
S4	Dijon	2	++	+	+++
S5	Dijon	2	+	0	+++
Rés0pest	Tous les sites	9	0	0	+++
PHPE	Grignon	2	++	+++	+
GES	Grignon	1	++	++	0

**Figure 3 : Systèmes de culture étudiés décrit par leur niveau d'usage en pesticide, herbicides, Travail du sol (Fort : +++ ; Intermédiaire : ++ ; Faible + ; Nul : 0)**

## 2) Mesures

### a) La flore adventice

Le protocole utilisé pour les relevés de flore adventice fait l'inventaire des espèces rencontrées sur un parcours en W (**Figure 4**) dans une zone d'observation de 2000m<sup>2</sup>, définie sur chaque parcelle. Pour chaque espèce le notateur renseigne le stade dominant (suivant une échelle présentée en **Annexe 2**) ainsi que l'abondance (à l'aide d'une échelle de Barralis modifiée (Barralis, 1976) (**Annexe 3**)). Ce protocole est effectué deux fois dans l'année (avant et après opération de désherbage). Pour les cultures d'hiver le premier relevé a lieu en sortie d'hiver avant toutes interventions de désherbage, pour les cultures de printemps ou d'été il est réalisé avant toutes opérations de désherbage post-levée. Le deuxième relevé est effectué au plus proche de la récolte. Dans cette étude, seul le relevé n°1 sera analysé étant donné la date tardive du relevé 2.



**Figure 4 : disposition du protocole d'évaluation de la communauté adventice.**

### b) Les carabidés

Pour évaluer les communautés de carabidés des pots Barber ont été utilisés. Ces pots de 8cm de diamètre et de 10cm de profondeur ont été enterrés de manière à ce que leur rebord se trouve à la surface du sol (**Photo 2**) et disposés comme indiqué sur la **Figure 5**. Ces pots ont été remplis à un tiers par de l'eau, du sel (50g/L) et du produit vaisselle inodore (2cL/L). Cette solution non attractive est couramment utilisée (CRITT INNOPHYT, 2004), le sel permettant la conservation des animaux capturés et le produit vaisselle facilitant leur noyade. Les pots Barber sont souvent utilisés pour



**Photo 2 : piège Barber dans du colza**

piéger les carabidés grâce à leur simplicité d'installation, à leur faible coût et à leur efficacité (Kromp, 1999). Cependant ce type de piège ne permet pas d'évaluer directement l'abondance des carabidés. En effet la probabilité de piéger un carabidé ne dépend alors pas seulement de leur abondance dans le milieu mais aussi de leur activité et de leur mobilité (Cromar, 1999). Ainsi nous ne parlerons pas d'abondance des carabidés mais d'activité densité.

### c) Prédation des graines d'adventices

Pour évaluer la prédation des graines d'adventices, la méthode standard de Westermann (2003), qui consiste à utiliser des cartes de prédation, a été mise en œuvre. En effet ce procédé est simple tout en étant efficace et a déjà été utilisé dans de nombreuses publications (Boursault 2012, Menalled 2007...). Une carte de prédation a donc été fixée au niveau de chaque station d'observation, celles-ci étant disposées en deux transects de 10 (Figure 5). Ces cartes sont des morceaux de papier de verre noir de 5cm de côté, le papier de verre permettant d'avoir une bonne résistance aux intempéries (Westermann 2003) et la couleur noir évitant d'attirer les insectes.



Photo 3 : Carte de prédation avec graines de *viola arvensis*

Dix graines de *Viola arvensis* (pensée des champs) sont fixées sur chaque carte (Photo 3) avec une colle en spray inodore. Cette espèce d'adventice est très appréciée des carabidés (Boursault, 2012) mais est aussi facilement manipulable et généraliste (présent dans la plupart des systèmes de culture). Les cartes ont été disposées à deux sessions et sont restées en place pendant quatre jours. La première session a eu lieu à 1100°C/j après semis de la culture et la deuxième à 1500°C/j. L'utilisation de degrés-jours a permis d'analyser la prédation à des stades de développement des cultures et des adventices comparables dans les différentes régions du dispositif.

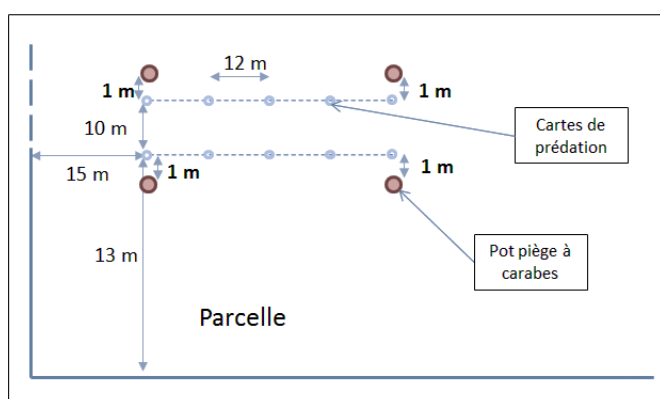


Figure 5 : disposition du protocole prédation



Photo 4 : carte sous cage à exclusion dans le blé

Sur le domaine d'Epoisses (l'unité expérimentale de Dijon) nous avons piégé de nombreux micromammifères (une musaraigne musette, 3 souris domestiques et 6 campagnols des champs) à l'issue de la session 1. C'est pourquoi lors de la deuxième session, et uniquement sur ce domaine, une carte de prédation sous cage à exclusion a été ajoutée sur chaque station d'observation pour comparer la prédation totale des graines à la prédation par les invertébrés (Photo 4).

Sur l'ensemble des deux sessions 176 pots Barbers ont donc été analysés ainsi que les 571 cartes de prédation hors cage posées sur les 22 parcelles et les 196 cartes sous cage d'exclusion posées à Epoisses à la session 2.



### 3) Analyse des données

#### a) Analyse des communautés

La flore de chaque parcelle est décrite par une richesse spécifique (nombre d'espèces) et une abondance par espèce (plante/m<sup>2</sup> en utilisant le centre de classe de l'échelle d'abondance (**Annexe4**)) et par parcelle. Les effets « système de culture » et « culture » ont été analysés par des analyses de la variance (ANOVA) ont été utilisées pour les distinguer suivant ces deux paramètres.

Pour analyser les structures et la composition des communautés de flore adventice des analyses en composantes principales (ACP) ont été réalisées en utilisant l'abondance de chaque espèce par parcelle transformée par racine carrée. De plus, seules les espèces présentes sur au moins deux parcelles ont été prises en compte dans ces ACP pour en améliorer la puissance. L'ACP a été choisie pour caractériser les parcelles car elle permet de traiter un grand nombre de variables quantitatives (l'abondance de chaque espèce). Enfin des tests de Khi-deux ont été utilisés pour vérifier si les systèmes de cultures montraient des proportions de stades phénologiques d'adventices différents.

Pour les carabidés, les individus piégés ont été triés puis identifiés grâce aux clés de détermination des carabiques de Jeannel (1941) et Roger (2014). Ensuite les données des pots Barber des sessions 1 et 2 d'une même parcelle ont été ajoutées pour obtenir une activité-densité par espèce et par parcelle. Ces données ont alors été analysées de la même manière que pour les adventices, avec des ANOVA et des ACP. Des tests de Khi-2 ont été effectués pour comparer les systèmes de culture et les cultures suivant leur composition en carabidés granivores, omnivores et carnivores.

L'ensemble des espèces répertoriées est en **Annexe 6 et 8**

#### b) Analyse de la prédation

A l'issue de chaque session les graines de *viola arvensis* restantes sur chaque carte sont comptabilisées, les graines manquantes étant considérées comme prédatées. Pour comparer la prédation hors cage et la prédation sous cage à exclusion une ANOVA a été réalisée. Pour étudier l'effet des cultures et des systèmes sur le taux de prédation observé sur chaque carte, des modèles linéaires généralisés mixtes (GLMM) ont été utilisés car la variable « prédation » n'était pas distribuée selon une loi Normale. Pour ces GLMM la loi Binomiale a été choisie (comptage de graines prédatées sur un nombre de graines initial connu). Les différents systèmes de cultures et cultures n'étant pas présents sur les mêmes parcelles un effet aléatoire (ou mixte) « parcelle » a été ajouté. Le même GLMM a été utilisé pour la prédation sous cage en ajoutant l'abondance en granivores comme facteur.

## IV) Résultats

### 1) Effet des systèmes de culture sur les communautés adventices

#### a) Analyse de la structure des communautés adventices

Sur l'ensemble des parcelles 81 espèces ont été répertoriées.

Une première approche nous montre que les systèmes à haute performances environnementales (GES et PHPE) ont une abondance d'adventice de  $22,53 \pm 15,30$  plante/m<sup>2</sup> contre  $16,28 \pm 18,72$  pl/m<sup>2</sup> pour les systèmes PIC et  $47,57 \pm 50,19$  pl/m<sup>2</sup> pour les systèmes Rés0Pest. La richesse spécifique était de  $15,67 \pm 4,16$  espèces observées dans les systèmes GES/PHPE soit près de deux fois plus que dans les autres systèmes (respectivement  $8,80 \pm 3,49$  et  $8,55 \pm 5,81$  espèces observées dans les systèmes PIC et Rés0pest). Cependant aucune analyse statistique n'a permis de mettre en évidence une différence d'abondance ou de richesse entre ces systèmes. Il existe une grande variabilité entre les parcelles qui est mise en avant dans les **Figures 6 et 7**. L'abondance et la richesse spécifique de flore dans le système Rés0pest en est un très bon exemple avec les parcelles R.c, R.f et R.g qui sont très infestées alors que les parcelles R.a, R.b, R.h et R.i sont très propres. Un effet région est sûrement à l'origine de l'abondance et de la richesse élevée observées sur les parcelles R.f et R.g de Le Rheu. De même, d'importantes différences apparaissent dans les autres systèmes.

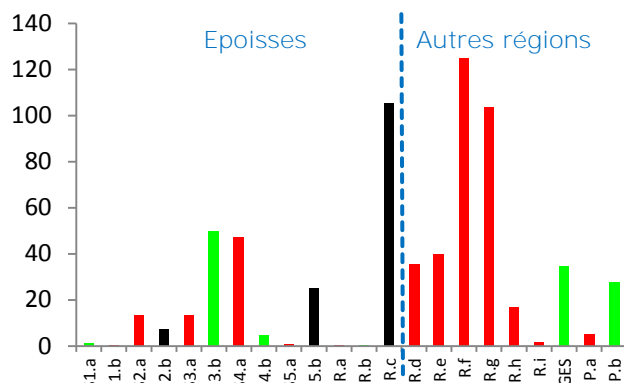


Figure 6 : Abondance de flore par parcelle. Vert=colza, rouge=céréales, noir=cultures d'été

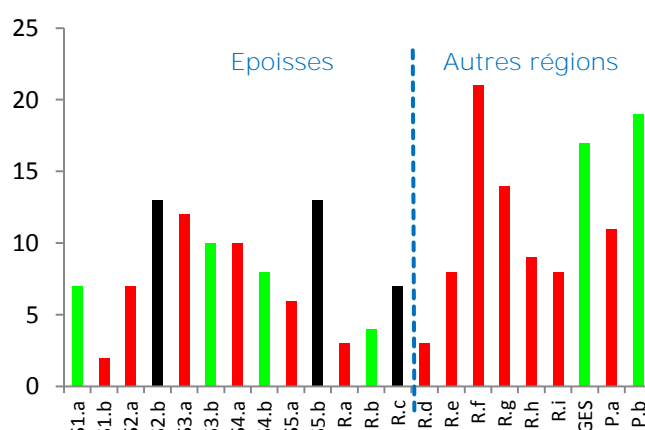


Figure 7 : Richesse de flore par parcelle.

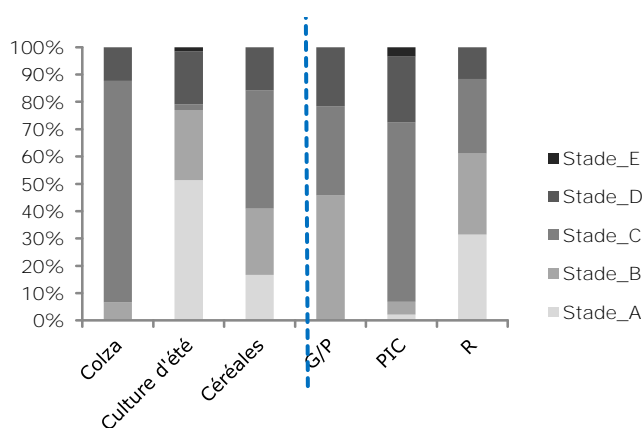


Figure 8 : proportion des stades observés dans chaque type de système et chaque culture

L'analyse de l'abondance et de la richesse spécifique par culture (**Annexe 9 et 10**) ne montre pas non plus de différences à cause encore une fois d'une importante variabilité entre parcelles. Cette variabilité est montrée dans les figure 5 et 6 où parcelles de céréales (blé, orge et triticale) sont représentées en rouge, les parcelles de colza en vert et les parcelles de soja ou tournesol en noir (ceci est valable pour tout le rapport). Ces cultures sont réunies dans un même groupe du fait qu'elles étaient toutes deux très peu développées lors de la mise en place des protocoles. On observe ainsi une densité de  $45,9 \pm 52,33$  pl/m<sup>2</sup> dans les cultures d'été, de  $30,95 \pm 40,39$  pl/m<sup>2</sup> pour les céréales et de  $26,85 \pm 21,80$  pl/m<sup>2</sup> pour le colza. De même,  $11,00 \pm 3,46$  espèces ont été recensées dans les cultures d'été contre et  $8,77 \pm 5,15$  espèces en céréales et  $11,17 \pm 5,77$  espèces par parcelle dans le colza.

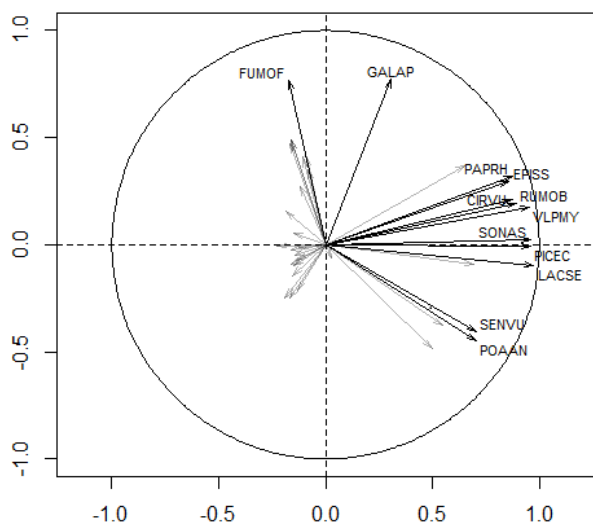
Enfin les systèmes de culture et les cultures ont été comparées suivant le stade de développement de leur flore adventice. Un premier test de Khi-deux a montré que les cultures pouvaient être différenciées suivant ce critère ( $p\text{-value} < 0,001$ ) au même titre que les systèmes de culture ( $p\text{-value} = 5,356 \times 10^{-14}$ ). On montre alors que les systèmes PIC ont une flore plus avancée que les autres systèmes notamment Rés0pest et GES au même titre que les colzas par rapport aux céréales et aux cultures d'été (**Figure 8**). Il existe cependant une grande variabilité interparcelle (**Annexe 11**).

#### b) Analyse de la composition des communautés adventices

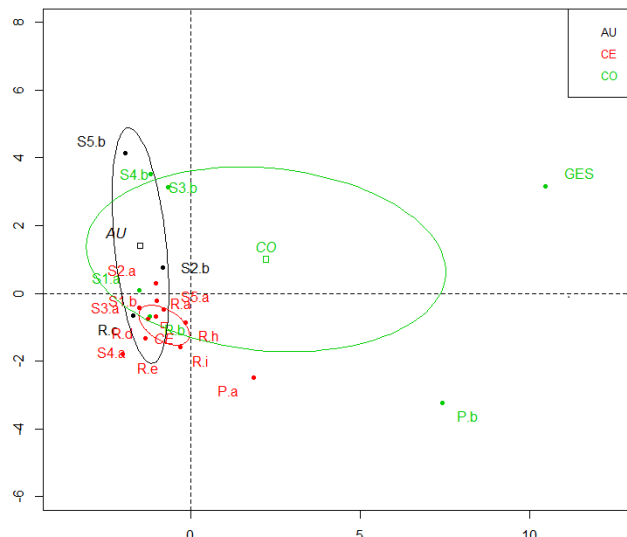
Une première analyse en composante principale a été réalisée pour décrire l'ensemble des parcelles étudiées en fonction de la densité observée de chacune des 45 espèces d'adventices utilisées. Cette ACP a révélé une particularité des parcelles R.f et R.g qui apparaissaient nettement différentes des autres en s'écartant suivant l'axe Dim1 auquel elles contribuaient majoritairement à cause de la présence dans ces parcelles de *Agrostis stolonifera* (exprimé à 95% par Dim1), *Geranium rotundifolium* (94,5%), *Juncus bufonius* (95%), et *Trifolium pratense* (95%). Ceci s'explique par le fait que ce sont les seules parcelles de la station expérimentale Le Rheu et donc que ces parcelles se différencient des autres à cause d'un effet région ou paysage

Pour pouvoir mieux représenter les autres parcelles une nouvelle ACP a donc été réalisée sans les parcelles R.f et R.g. En effet l'axe Dim 1 ne permettait que de séparer les parcelles du Rheu des autres et ne pouvait donc pas mettre en évidence une possible influence des systèmes de cultures sur les communautés adventices. Cette ACP illustrée en **Figure 10** décrit en deux dimensions 36,78% de la variabilité du nuage de points soit une bonne précision pour ce type d'analyse. Les parcelles y sont représentées dans le plan défini par les axes Dim1 et Dim2 en mettant en évidence l'effet culture. On constate alors que les parcelles de colza se différencient des autres cultures par leur flore. Ainsi les parcelles GES et P.b de l'unité expérimentale de Grignon sont plutôt définies par l'axe Dim1, ainsi, *Vulpia myuros*, représentée à 90% par cet axe, *Lactuca serriola* (94%), *Sonchus asper* (92%) et *Picris echioides* (91%) sont les espèces spécifiques de ces parcelles alors que les parcelles de colza d'Époisses sont plus riches en *Fumaria officinalis* (représentée à 59% par l'axe

Dim2) et *Galium aparine* (59%). A l'inverse, les ellipses de confiance des parcelles de céréales, soja et tournesol montrent qu'elles ont des communautés d'adventices moins riches en ces espèces. Ceci dénote un effet culture important sur la composition des communautés de flore adventice. Les 12 espèces qui contribuent le plus à l'ACP sont représentées en **Figure 9**.



**Figure 9** représentations des espèces dans le plan de l'ACP des communautés de flore



**Figure 10** : ACP de l'effet des cultures sur la flore adventice

L'Annexe 12 présente les mêmes résultats mais en mettant en valeur l'effet système. Sur ce graphique les parcelles appartenant à un système de culture identique sont représentés d'une même couleur et le barycentre du système est représenté par un carré. L'effet système est donc mieux mis en avant et on constate alors une certaine homogénéité des communautés de flore adventice au sein des systèmes S1, S2, et Rés0pest. A l'inverse les parcelles des systèmes S3, S4, S5 et PHPE ont des communautés différentes les unes des autres à cause d'un effet culture important. Cette ACP a cependant une limite car elle ne permet pas de réellement différencier les systèmes les uns des autres suivant la communauté d'adventices.

## 2) Effets des systèmes de culture sur les communautés de carabidés

### a) Analyse de la structure des communautés de carabidés

Sur l'ensemble des parcelles 42 espèces ont été répertoriées. L'analyse des carabidés ne montre pas de différences significatives d'activité-densité entre les systèmes puisque, en moyenne,  $56,67 \pm 40,01$  individus ont été piégés dans les systèmes G/PHPE,  $61,90 \pm 53,49$  individus dans les systèmes PIC et  $46,78 \pm 37,65$  dans Rés0pest. Il en est de même pour la richesse puisque  $8,00 \pm 2,00$  espèces ont en moyenne été trouvée sur les deux sessions par parcelle G/PHPE contre  $7,00 \pm 3,43$  pour PIC et  $7,88 \pm 3,92$  pour Rés0pest. Mais ici aussi de nombreuses disparités existent entre parcelles. Sur Rés0pest encore une fois l'activité-densité des carabidés est bien plus élevée sur les parcelles R.b, R.f, R.g et R.i que sur les autres avec encore un fort effet région sur les parcelles de Le Rheu et il en est de même pour les parcelles S1.a et S3.b par rapport aux parcelles S1.b et S3.a (**Figure 11**). La richesse spécifique est quant à elle particulièrement variable sur les

systèmes S1, S3, S4 et Rés0pest (**Figure 12**). D'autre part, une analyse de la variance montre que l'activité densité est plus élevée dans le colza (100,33±53,77 ind/parcelle) que dans les céréales (43,00±25,95 ind/parcelle) et les cultures d'été (16,33±6,66 individus/parcelle), (p-value=0,003). Pour la richesse spécifique (respectivement 5,33±1,15, 6,92±3,36 et 9,83±2,32 espèces/parcelles pour les cultures d'été, les céréales et le colza), aucune différence significative n'a été détectée. L'activité-densité et la richesse spécifique par culture sont détaillées en **Annexe 14 et 15**

Enfin, l'examen des guildes trophiques a montré que sur les 1122 individus identifiés 45% étaient carnivores, 38% omnivores et 17% granivores. Les **Figures 13 et 14** présentent les activité-densités des granivores et omnivores dans les parcelles. On constate alors une grande variabilité entre parcelles notamment pour l'activité-densité des granivores où les parcelles S1.a, S2.a et R.b ont les valeurs les plus élevées. Au contraire les systèmes S3 et S4 semblent avoir les activité-densités d'omnivores les plus élevées. De plus, le code couleur permettant de mettre en évidence les différentes cultures montre que les activité-densités de granivores sont les plus fortes dans les parcelles de colza. Ainsi en moyenne 19±18 granivores étaient présents dans le colza contre 5±7 dans le soja ou le tournesol et 5±11 dans les céréales. Toutefois aucune analyse n'a permis de mettre cette différence en évidence. On peut alors penser que la différence existe mais que les données ne permettent pas de la montrer. Des résultats similaires ont été trouvés pour les omnivores (**Annexes 16 et 17**).

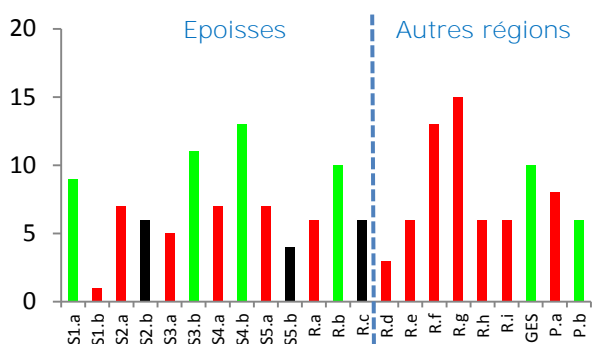


Figure 11 : Activité-densité des carabidés par parcelle.

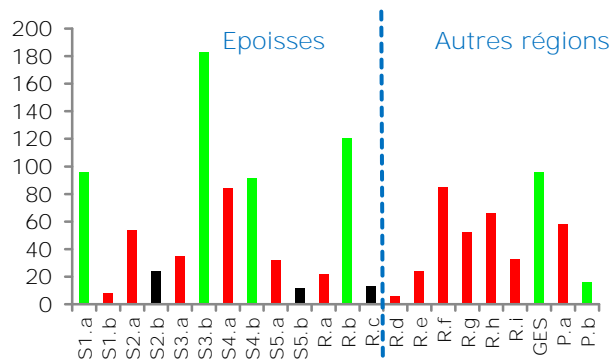


Figure 12 : Richesse en carabidés par parcelle.

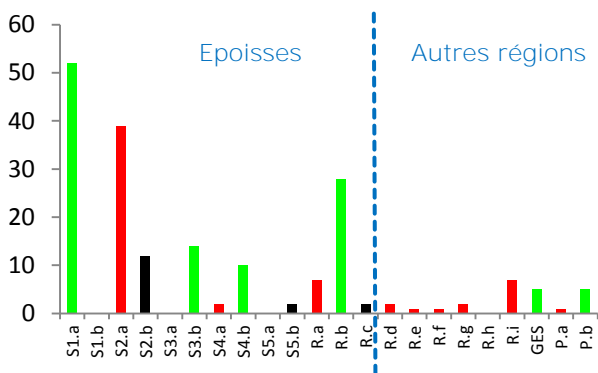


Figure 13 : Activité-densité des carabidés granivores par parcelle.

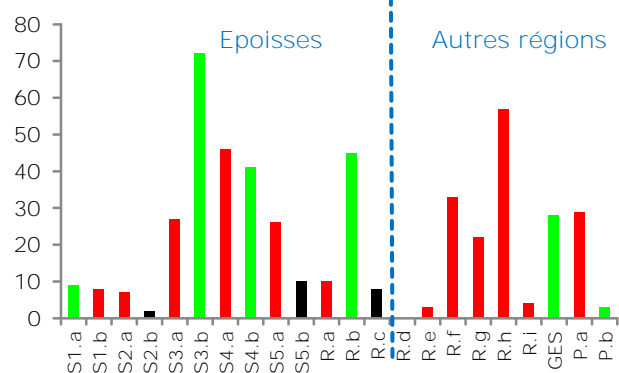


Figure 14 : Activité-densité des carabidés omnivores par parcelle.

## b) Analyse de la composition des communautés de carabidés

De la même manière que pour les communautés de flore, une première ACP, à partir de 25 espèces, a été réalisée en prenant en compte 22 parcelles

Là aussi les parcelles R.f et R.g de Le Rheu étaient séparées des autres parcelles par l'axe Dim1, toujours à cause de l'effet région ou paysage, leur communauté étant caractérisé notamment par *Anisodactylus binotatus* (représenté à 60,7% par Dim1), *Asaphidion gr. Flavipes* (70,9%) et *Notiophilus quadripunctatus* (55,5%).

Pour les mêmes raisons que pour la flore adventice une nouvelle ACP sans R.f et R.g a donc été réalisée (**Figure 16**). Cette analyse décrit 41,10% de l'information et montre des similitudes avec l'ACP de la flore adventice. Les parcelles de colza se distinguent encore une fois des autres parcelles, celles de Grignon observant une activité-densité plus élevée de *Nebria salina*, *Pterostichus melanarius* et *Asaphidion gr. flavipes* représentés respectivement à 45%, 51% et 54% par l'axe Dim2 et celles d'Epoisses en *Amara ovata*, *Brachinus sclopeta* et *Semiophonus signaticornis* représentés respectivement à 80%, 92% et 62% par l'axe Dim2. La **Figure 15** représente les granivores (en vert) et les omnivores (en orange) selon le plan de l'ACP. Les colzas d'Epoisses sont donc relativement plus riches *Amara ovata*, *Amara similata*, *Semiophonus signaticornis* et *Poecilus cupreus* alors que ceux de Grignon sont plus riches en *Pterostichus melanarius*. Il y a donc un effet culture et un effet région.

L'**Annexe 13** montre la même ACP avec les systèmes mis en évidence. On observe une homogénéité des communautés au sein des parcelles des systèmes S2, S5, Rés0pest et PHPE alors que les parcelles des systèmes S1, S3 et S4 sont différentes les unes des autres à cause de l'effet culture. Ici l'unique parcelle en système GES se distingue moins des autres contrairement à ce que l'on pouvait observer pour sa communauté d'adventices.

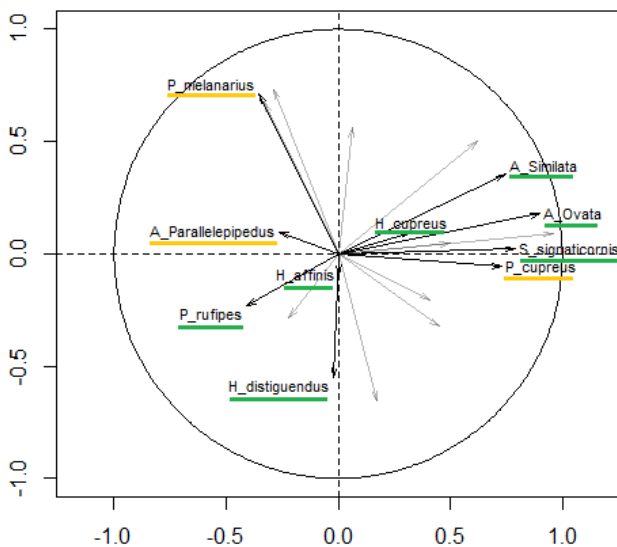


Figure 15 représentations des espèces dans le plan de l'ACP des communautés de carabidés

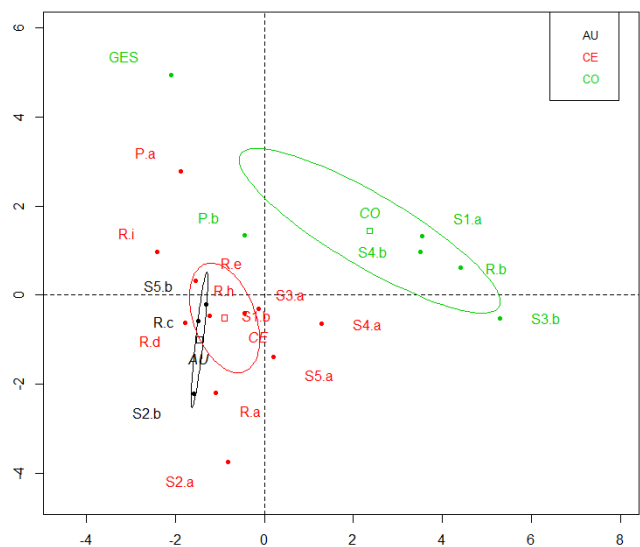
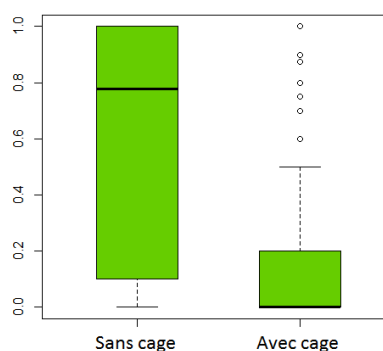


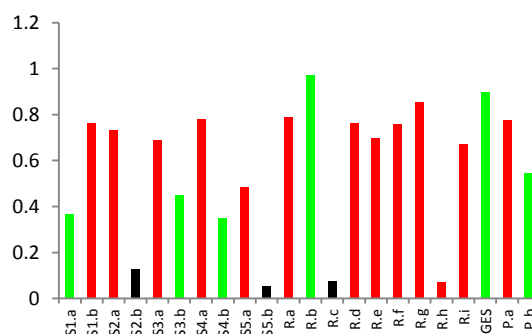
Figure 16 : ACP de l'effet des cultures sur la flore adventice

### c) Quel effet des systèmes de culture sur la prédation

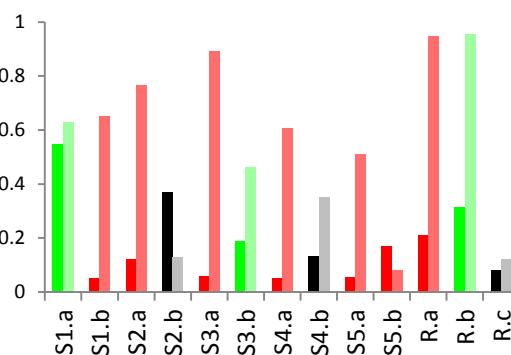
L'analyse des cartes de graines hors cage montre un taux de prédation  $59\pm 43\%$  sur l'ensemble des parcelles et des deux sessions avec une grande variabilité entre les parcelles mais pas entre les systèmes (**Figure 18**). De plus les cultures d'été semblent avoir les taux de prédation les plus faibles. Pendant la session 2 à Epoisses un taux de prédation de  $17\pm 30\%$  a été observé sur les cartes de graines protégées par des cages à exclusion contre  $59\pm 41\%$  pour les cartes non protégées (**Figure 17**). Une analyse de la variance permet de mettre en évidence que la prédation hors cage est plus élevée que la prédation sous cage ( $p\text{-value} < 0,001$ ). Là aussi il existe une variabilité interparcelle (**Figure 19**). Il est alors difficile de distinguer des différences entre systèmes de culture mais on observe une plus forte prédation des invertébrés dans les colzas et qui est corrélée ( $r=0,73$ ) à l'activité-densité des granivores (**Figure 20**). Aussi on observe un écart de -58 points du taux de prédation en cage à exclusion par rapport au taux de prédation sans cage dans les céréales alors que cette différence est de -34 points dans le colza et de +6 points pour les cultures soja et tournesol. Un premier modèle linéaire généralisé mixte a été réalisé pour montrer s'il existait une relation entre les taux de prédation hors cage, les cultures et les systèmes de culture. Ce modèle exposé en **Figure 21**, ne montre pas d'effet significatif des systèmes de culture ( $p\text{-value} > 0,05$ ) mais met en évidence un effet culture. Ainsi, par rapport au soja ou au tournesol, la prédation est plus élevée dans les céréales (estimate= 2,8897 et  $p\text{-value}=0,0333$ ) et encore plus élevée dans le colza (estimate=3,4867 et  $p\text{-value}=0,0199$ ).



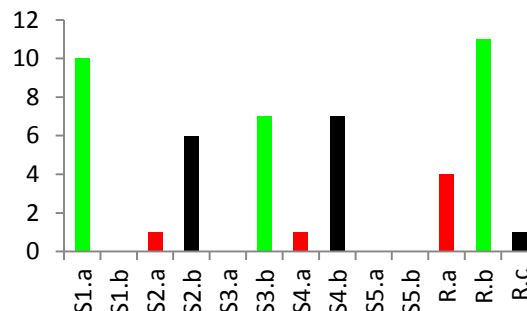
**Figure 17 : Taux de prédation observés à Epoisses lors de la session 2. Comparaison entre protocole sans et avec cage**



**Figure 18 : Prédation total par parcelle sur les 2 sessions**



**Figure 19: prédation totale en couleur claire et prédation par invertébrés en foncé à la session 2**



**Figure 20: Abondance en granivores à la session 2**

Un autre modèle linéaire généralisé mixte a été conçu à partir des données sur la prédation sous cage avec les mêmes paramètres et a mis en évidence le même effet culture. Un second modèle a été réalisé en ajoutant l'activité-densité des granivores comme effet fixe. Ce modèle montre un effet positif de l'activité-densité des granivores sur la prédation (estimate=0,22550 et p-value<0,001) mais un effet culture différent de celui observé dans les autres modèles, les céréales défavorisant la prédation par rapport aux cultures d'été (estimate=-0,66958, p-value=0,0349) et le tout comme le colza qui a un effet encore plus négatif (estimate=-1,30693 p-value=0,002). Il y a donc un effet d'interaction sur la prédation entre l'abondance en granivore et la culture (**Annexe 18**). Un ultime modèle prenant en compte cette interaction a donc été réalisé (**Figure 22**). On constate alors un effet positif des systèmes S1, S2 sur la prédation, de même que pour le système S5 mais où l'absence de granivores piégés ne permet pas d'interpréter ce résultat. La prédation dans les céréales est aussi moins forte que dans les cultures d'été.

	Estimate	SE	z-value	p-value
(Intercept)	-2.7747	2.0143	-1.377	0.1684
Système	0.7500	1.6821	0.446	0.6557
PHPE				
Système R	0.4905	1.5305	0.320	0.7486
Système S1	-0.1002	1.6840	-0.060	0.9525
Système S2	0.8743	1.8943	0.462	0.6444
Système S3	0.6831	1.5636	0.437	0.6622
Système S4	-0.8085	1.5577	-0.519	0.6037
Système S5	-0.1464	1.8935	-0.077	0.9384
Céréales	2.8897	1.3574	2.129	0.0333 *
Colza	3.4867	1.4971	2.329	0.0199 *

**Figure 21: Résultat du GLMM expliquant la variation du taux de prédation hors cage en fonction du système de culture et de la culture avec les parcelles en effet aléatoire. AIC=4319,9.**



	Estimate	SE	z-value	p-value
(Intercept)	-2.54640	0.35510	-7.171	7.45e-13 ***
Système S1	0.88614	0.26966	3.286	0.001016 **
Système S2	1.21750	0.36451	3.340	0.000838 ***
Système S3	0.82203	0.52798	1.557	0.119484
Système S4	0.41345	0.50144	0.825	0.409649
Système S5	0.94819	0.38754	2.447	0.014417 *
Céréales	-1.27027	0.36853	-3.447	0.000567 ***
Colza	-2.50969	1.34441	-1.867	0.061936 .
Granivore	0.13253	0.07523	1.762	0.078149 .
Céréales : granivore	0.49417	0.14193	3.482	0.000498 ***
Colza : granivore	0.25622	0.16190	1.583	0.113517

**Figure 22: Résultat du GLMM expliquant la variation du taux de prédation en cage à exclusion en fonction du système de culture, de la culture et de l'abondance en carabidés granivores, de leur interaction et avec les parcelles en effet aléatoire. AIC=1142,3.**

#### **d) Effet des pratiques sur les communautés**

Aucune corrélation entre les pratiques culturales (entendre ici IFT et travail du sol) et les communautés n'est ressortie de ces résultats, Puisque les coefficients de corrélation entre les différentes variables étaient toujours inférieurs à 0,3.

## V) Discussion

---

### 1) La culture est le facteur majeur qui structure les communautés et influe sur la prédation des graines d'adventices

Il a été montré précédemment que les colzas ont une flore adventice à des stades phénologiques plus développés que dans les autres cultures. Ces différences sont dues à une compétition différente de la culture avec les adventices à cause de la biologie même de la culture et des pratiques qui lui sont associées. Il a aussi été montré que les carabidés étaient plus abondants dans les colzas que dans les autres cultures, ce que l'on retrouve dans d'autres études (Eyre, et al., 2012). Des indices forts d'une disparité de l'activité-densité des granivores entre cultures ont notamment été observés avec des colzas qui paraissent plus riches en granivores et omnivores que les autres cultures en particulier les cultures d'été (les analyses statistiques n'ont pu montrer de différences significatives mais ceci est probablement causé par un manque de donnée plus qu'à un effet biologique). Ceci pourrait être due au stade plus avancé de la flore dans les colzas qui produirait alors plus de graines que dans les autres cultures et attirerait ainsi plus de carabidés mangeurs de graines (Bohan, et al., 2011). Le phénomène inverse pourrait s'être produit dans le soja et le tournesol où l'absence de couverture aurait aussi plus exposé les carabidés aux prédateurs.

Les modèles linéaires généralisés ont alors montré une prédation totale des graines d'adventices plus forte dans le colza et les céréales par rapport aux cultures d'été. Au vu des effets des cultures sur les communautés de carabidés ces données étaient attendues. Cependant cette prédation n'était pas exclusivement causé par les carabidés c'est pourquoi les différences entre prédation totale et prédation par invertébrés plus fortes dans le colza et les céréales suggère que la prédation des vertébrés y était plus forte que dans le soja et le tournesol. Le piégeage de nombreux micromammifères suggère qu'ils en étaient la cause la plus probable. Les souris et campagnols sont d'ailleurs d'important prédateurs de graines d'adventice (Cardina, et al., 1996). Il a aussi été montré que lorsqu'on étudiait l'effet des cultures sur la prédation des graines sous cage tout en prenant en compte l'abondance en carabidés granivores, l'effet des cultures était inversé. Ceci montre que, comparativement au nombre de granivore que l'on pouvait trouver dans le colza, la prédation était faible par rapport à celle observée dans les cultures d'été, traduisant un manque d'« efficacité » de ces carabidés. On peut alors penser que l'offre en graines dans les colzas était plus importante que la demande des carabidés et qu'ainsi les graines sur les cartes de prédation aient eu moins de chance d'être prédatées dans ces cultures que dans le soja ou le tournesol.

## 2) Un effet région observé sur les communautés

D'après les observations les parcelles de Le Rheu paraissent avoir une abondance et une richesse spécifique de flore d'adventice ainsi qu'une activité-densité des carabidés et notamment des granivores plus élevée que les autres parcelles. De plus leurs communautés de flore et de carabidés ne sont pas structurées de la même manière. Ces parcelles ont une flore adventice particulièrement riche en *Agrostis stolonifera*, *Geranium rotundifolium*, *Juncus bufonius*, et *Trifolium pratense* et la présence de *Anisodactylus binotatus*, *Asaphidion gr. Flavipes*, et *Notiophilus quadripunctatus* caractérise leurs communautés de carabidés. De même les parcelles de colza de Grignon avaient une activité-densité de *Pterostichus melanarius* plus importante que les autres parcelles de colza et une flore différente. Ces différences sont probablement dues à un effet région, même si il a été montré que les populations de carabidés dans les systèmes de culture étaient relativement homogènes d'une région à l'autre (Dajoz 2002). Cela pourrait aussi être un effet paysage car ceux-ci peuvent structurer les communautés (Trichard 2014) mais ces données n'ont pas été étudiés ici.

## 3) La difficulté de mettre en évidence un effet des systèmes de culture.

Cette étude n'a mis en évidence que peu d'effets des systèmes de culture, que cela soit sur les communautés de carabidés, de flore adventice ou sur la prédation. Des différences de phénologie d'adventices ont été montrées, les systèmes PIC ayant une flore globalement plus développée. Aussi les systèmes S1 et S2 ont paru plus riches en carabidés granivores alors que les activités-densité d'omnivores les plus importantes étaient observées dans les systèmes S3 et S4. Tous ces résultats cachent néanmoins d'importantes disparités entre les parcelles d'un même système, le système Rés0pest en étant le meilleur exemple. Pourtant le gradient d'utilisation d'herbicide suivant les différents systèmes de culture aurait dû mettre en évidence des différences de communauté de flore, notamment pour les systèmes S5 et Rés0pest où aucun herbicide n'a été utilisé. L'absence d'utilisation d'insecticides dans les parcelles Rés0pest aurait aussi dû traduire une plus grande richesse et une plus grande diversité des carabidés dans ces systèmes. On aurait ainsi pu s'attendre à avoir des communautés de flore adventice et de carabidés plus développées dans les parcelles Rés0pest que dans les autres parcelles et donc une prédation des graines d'adventices plus élevée. Cette absence de différences s'explique par plusieurs raisons. Il a été montré précédemment que la culture a un effet important sur les communautés et la prédation, or les proportions de parcelles en céréales, colza, soja ou tournesol ne sont pas les mêmes d'un système à l'autre ce qui donne un biais à l'analyse. Ainsi le système Rés0pest avec 11% de ces parcelles en colza a pu avoir une prédation sous-estimée par rapport à un système PIC avec 50% de colza. Le travail du sol est utilisé comme solution alternative de désherbage dans les systèmes de culture utilisant peu d'herbicides, il réduit donc la richesse spécifique et l'abondance en flore adventice mais il a aussi été montré qu'il avait des effets similaires sur les carabidés (Rabourdin, et

al., 2011). Ceci peut alors aussi expliquer le peu de différences observées sur les communautés de flore adventice des différents systèmes puisque le gradient de travail du sol était antagoniste au gradient d'utilisation d'herbicides. De même l'effet de l'absence d'insecticides en Rés0pest est masqué par de nombreux travaux du sol. A l'inverse, les systèmes S1 et S2 avec un IFT insecticide équivalent aux autres systèmes avaient très peu de travail du sol ce qui peut expliquer l'activité-densité de granivores et la prédation plus forte observée dans ces systèmes. Cependant cet effet n'a pas été observé sur le système GES où il n'y avait pourtant pas de travail du sol. Il faut ajouter à cela l'histoire des parcelles. En effet les systèmes Rés0pest ne sont mis en place que depuis 2 saisons contre 14 pour les systèmes PIC. Or il a été montré que l'effet d'une pratique pouvait ne se faire ressentir qu'après plusieurs années (on peut citer l'exemple du semi-direct (Trichard, 2014)), le temps que les populations se réadaptent aux nouvelles pratiques. Enfin l'effet région a lui aussi affecté les données puisque toutes les parcelles PIC étaient à Epoisses, les parcelles GES et PHPE à Grignon et les parcelles Rés0pest étaient sur toute la France. L'effet région n'était donc pas représenté de la même manière dans les différents systèmes de culture.

## VI) Conclusion et limites de l'étude

---

Cette étude de la prédation des graines d'adventices par les carabidés a donc permis de montrer que la culture est la pratique qui influence le plus les communautés de carabidés et de flore adventice et aussi la prédation. Il a notamment été observé que la prédation par les invertébrés était la plus forte dans les colzas par rapport aux céréales et aux cultures d'été. Cependant peu de différences de communauté ou de flore ont pu être mises en évidence entre les différents systèmes économes en produits phytosanitaires à cause d'effets antagonistes du travail du sol et de ces produits mais aussi à cause de la construction même de l'expérience. Ainsi pour mettre en évidence des différences entre système de culture il aurait été préférable d'avoir plus de données par systèmes de culture mais aussi de diminuer les effets « culture » et « région », soit en mettant le protocole en place que sur des parcelles d'une même région et d'une même culture, soit en ayant les mêmes proportions de cultures dans chaque système de culture et des systèmes présent dans les mêmes régions. Il serait donc intéressant de mettre en place un tel protocole à l'avenir. On pourrait alors imaginer que la prédation des graines d'adventices par les carabidés pourrait être utilisée comme critère supplémentaire de notation des systèmes de culture.

## VII) Référence bibliographiques

- ALTIERI, M. *Agroécologie, résilience et souveraineté alimentaire*. Cycle de conférences "Agroécologie" de l'INRA. 2012.
- BARRALIS, G. (1976). *Méthode d'étude des groupements adventices des cultures annuelles; Application à la Côte d'Or*. In: Comptes Rendus du 5. colloque sur l'Ecologie et la Biologie des Mauvaises Herbes (p. vol. 1; 59-68). Paris, France : COLUMA.
- BOHAN, D [et al]. National-scale regulation of the weed seed bank by carabid predators. *Journal Of Applied Ecology*, 2011, n°48, 888-898.
- BOURSAULT, A. *Caractérisation des relations trophiques entre composantes d'un agroécosystème : le cas de la prédation des graines d'adventices par les Carabidæ*. Thèse. Science. 2012, INRA Dijon.
- "BOURSAULT, A., PETIT, S. La prédation des graines d'adventices par les carabiques. *La lutte biologique : Vers de nouveaux équilibres écologiques* Lydie Suty. Coéd. Quæ – Educagri, coll. Sciences en partage 332 p., 2010
- BROOKS, D. R., STORKEY, J., CLARK, S. J., FIRBANK, L. G., PETIT, S. and WOIWOD, I. P. Trophic links between functional groups of arable plants and beetles are stable at a national scale. *Journal of Animal Ecology*. 2012, vol.81, p. 4–13.
- Carabes: *auxiliaires de culture, indicateurs de la biodiversité d'un milieu*. Poster. 2004, CRIT INNOPHYT, Orléan.
- CARPENTER, R. S., et al. Science for managing ecosystem services: Beyond the Millennium Ecosystem Assessment. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2009, vol. 106, n° 5, 1305-1312.
- CHAPELIN-VISCARDI, J. D. *Diversité des carabidae en grandes cultures et intérêt entomologique*. Colloque. Les entomophages en grandes cultures: diversité, services rendus et potentialité des habitats, Paris, 17 novembre 2011.
- CHIKOWO, R [et al]. Integrated weed management systems allow reduced reliance on herbicides and long term weed control. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 2009, n°132, p. 237-242.
- COLLARD, V [et al]. Emergence des carabides, potentialité des habitats. Colloque. Les entomophages en grandes cultures: diversité, services rendus et potentialité des habitats, Paris, 17 novembre 2011.
- CONWAY, G. *The Doubly Green Revolution: Food for All in the Twenty-First Century*. Comstock Publishing Associates. 1999. 360p. ISBN-13: 978-0801486104.
- COSTANZA, R. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 1997, vol. 387, 15 may, p. 253-260.
- CROMAR, E. H., MURPHY, S. D., SWANTON, C. J. Influence of tillage and crop residue on postdispersal predation of weed seeds. *Weed Science*, 1999, n°47, 184-194.
- DAJOZ Roger. *Les coléoptères: Carabidés et ténébrionidés*. Tec & Doc Lavoisier, 26 octobre 2002. 522p. ISBN: 978-2743005399
- DESSAINT, F., CHADOEUF, R., BARRALIS, G. Spatial pattern analysis of weed seeds in the cultivated soil seed bank. *Journal of applied ecology*. 1991, vol. 28, p. 721-730.
- DE SCHUTTER, O. Rapport annuel du rapporteur spécial sur le droit à l'alimentation des Nations Unies. 20 décembre 2010.
- DESRIER, M. L'agriculture française depuis cinquante ans : des petites exploitations familiales aux droits à paiement unique. *L'agriculture, nouveaux défis*. Agreste. 2007"

- EYRE, M. D., LUFF, L. M., LEIFERT, C. Crop, field boundary, productivity and disturbance influences on ground beetles (Coleoptera, Carabidae) in the agroecosystem. *Agriculture, agrosystem and environment*, 2012, n°165, 60-67.
- De TOURDONNET, S., SHILI, I., SCOPEL, E. Utilisation des mulchs vivants pour la maîtrise des flores adventices. Colloque. *Maîtrise de la flore adventice en grandes cultures*. Dijon. 2 décembre 2008.
- GALLANDT, E.R., [et al]. Effect of cover-cropping systems on invertebrate seed predation. *Weed Science*, 2005, vol 53, p. 69–76.
- GLIESSEMAN, R. Integrating Agroecological Processes into Cropping Systems Research. *Journal of Crop Improvement*, 2004, vol. 11, No. 1/2, 61-80
- JEANNEL. R. Coléoptère carabiques. *Faune de France* tome 39. Paris: LECHEVALIER et fils, 1941.
- JOLY, D., BROSSARD, T., CARDOT, H., CAVAILHES, J., HILAL, M., WAVRESKY, P. Les types de climats en France, une construction spatiale. *Cybergeo : European Journal of Geography* [En ligne], Cartographie, Imagerie, SIG, document 501, mis en ligne le 18 juin 2010, consulté le 18 août 2014. URL : <http://cybergeo.revues.org/23155> ; DOI : 10.4000/cybergeo.23155
- KROMP, B. Carabid beetles in sustainable agriculture: a review on pest control efficacy, cultivation impacts and enhancement. *Agriculture Ecosystems and Environment*. 1999, n°74, 187-228
- "MENALLED, D [et al]. Impact of agricultural management on carabid communities and
- WESTERMAN, P.R. [et al]. Relative importance of vertebrates and invertebrates in epigeaic weed seed predation in organic cereal fields. *Agriculture weed seed predation. Science direct*, 2007, n°118, 49-54."
- MILAIRE H.G. A propos de quelques définitions. *Phytoma, La Défense des Végétaux* , 1995, n°475 p. 7-9.
- MULLER, F., DE GROOT, R., WILLEMEN, L. Ecosystem Services at the Landscape Scale: The Need for Integrative Approches. *Landscape Online*, 2010, n°23, 1-11.
- MUNIER-JOLAIN, N [et al]. Conception et évaluation multicritère de prototypes de systèmes de culture dans le cadre de la Protection Intégrée contre la flore adventice en grandes cultures. Colloque. *Maîtrise de la flore adventice en grandes cultures*. Dijon. 2 décembre 2008.
- RABOURDIN, N., DOR, C., MAIZERET, J. M. Impact des pratiques et des aménagements sur l'abondance et la diversité des carabides. Colloque. *Les entomophages en grandes cultures: diversité, services rendus et potentialité des habitats*, Paris, 17 novembre 2011.
- ROGER, J. L., JAMBON. O., BOUGER. G. *Clé de détermination des carabidés: paysages agricoles du Nord-Ouest de la France*.
- TRICHARD, A. *Effets des pratiques locales et du paysage sur des communautés en interaction : la prédation des adventices par les carabidae en semis direct*. Thèse. Science. 2014, AgroSup Dijon.
- WALER, V. *Millennium Ecosystem Assessment Synthesis Report*. Washington D.C.: Island Press, 2005. 219p.
- WESTERMAN, P.R. [et al]. Integrating measurements of seed availability and removal to estimate weed losses due to predation. *Weed Science*, 2006, n°54, 566-574.
- Ecosystems and Environment*, 2003, n°95, 417-425

### Annexe 1: Caractérisation des parcelles.

Parcelle	Système	Unité expérimentale	Culture	Climat*
A1	S1	Epoisses	Colza	Océanique dégradé
A2	S1	Epoisses	Céréale	Océanique dégradé
B1	S2	Epoisses	Céréale	Océanique dégradé
B2	S2	Epoisses	Soja	Océanique dégradé
C1	S3	Epoisses	Céréale	Océanique dégradé
C2	S3	Epoisses	Colza	Océanique dégradé
D1	S4	Epoisses	Céréale	Océanique dégradé
D2	S4	Epoisses	Colza	Océanique dégradé
E1	S5	Epoisses	Céréale	Océanique dégradé
E2	S5	Epoisses	Tournesol	Océanique dégradé
R1	R	Epoisses	Céréale	Océanique dégradé
R2	R	Epoisses	Colza	Océanique dégradé
R3	R	Epoisses	Soja	Océanique dégradé
R4	R	Mauguio	Céréale	Méditerranéen franc
R5	R	Mons	Céréale	Océanique dégradé
R6	R	Le Rheu	Céréale	Océanique altéré
R7	R	Le Rheu	Céréale	Océanique altéré
R8	R	Lusignan	Céréale	Océanique altéré
R9	R	Grignon	Céréale	Océanique dégradé
G1	GES-	Grignon	Colza	Océanique dégradé
P1	PHPE	Grignon	Céréale	Océanique dégradé
P2	PHPE	Grignon	Colza	Océanique dégradé

\*D'après JOLY, D., BROSSARD, T., CARDOT, H., CAVAILHES, J., HILAL, M., WAVRESKY, P. Les types de climats en France, une construction spatiale. *Cybergeo : European Journal of Geography* [En ligne], Cartographie, Imagerie, SIG, document 501, mis en ligne le 18 juin 2010, consulté le 18 août 2014. URL : <http://cybergeo.revues.org/23155> ; DOI : 10.4000/cybergeo.23155

## Annexe 2: Echelle de phénologie des plantes

Classe	Stade	Dicotylédone	Graminée
A	plantule	cotylédons à 1-3 ou 2-4 feuilles	1 à 3 feuilles
B	plante jeune	au-delà de 3 ou 4 (6) feuilles	1 à 2 talles
C	plante adulte	ramifications	plein tallage/ montaison
D	floraison	boutons floraux	épiaison
E	grenaison	dissémination des semences	grenaison

## Annexe 3: Echelle de classe d'abondance (modifiée d'après celle de Barralis)

Classe	plantes/m <sup>2</sup>	soit sur 2000 m <sup>2</sup>
+	$D < 0,1$	moins de 200 plantes
1	$0,1 < D < 1 \text{ pl/m}^2$	200 à 2000 plantes
2	$1 < D < 3 \text{ pl/m}^2$	
3	$3 < D < 20 \text{ pl/m}^2$	
4	$20 < D < 50 \text{ pl/m}^2$	
5	$50 < D < 500 \text{ pl/m}^2$	
6	$500 \text{ pl/m}^2 < D$	



### Annexe 4: Densité (plante/m<sup>2</sup>) de chaque espèce (nommée par leur code EPPO†) par parcelle

Parcelle	S1.a	S1.b	S2.a	S2.b	S3.a	S3.b	S4.a	S4.b	S5.a	S5.b	R.a	R.b	R.c	R.d	R.e	R.f	R.g	R.h	R.i	GES	P.a	P.b
Système	A1	A2	B1	B2	C1	C2	D1	D2	E1	E2	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	G1	P1	P2
AETCY	0	0	0,5	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
AGSST	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0,5	0	0	0	0	0
ALOMY	0,1	0	11,5	2	0,1	0,1	0	0	0,1	0,5	0	0	0	0	11,5	11,5	0,5	0	0	0	0	0
ANGAR	0	0	0	0	0	0	35	0	0	0,1	0	0	0	0	11,5	0	0	0	0,1	0	0,1	0
ANRCA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0,1
APHAR	0,1	0	0	0	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
AVESS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BROHM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0	0	0
BRSSS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0	0	0	0
BRSNN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0
BRSNW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0	0	0	0	0	0	0
CAPBP	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0,1	0,5	0,1	0,1
CERGL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0	0	0	0	0	0,5	0	0	0	0	0	0
CHEAL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11,5	0	0	35	0	0	0	0	2	0	0	0	0
CHEPO	0	0	0	0,1	0	0	0	0	0	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CHESS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CIRAR	0	0	0,1	0,1	0	0	0,1	0	0,1	0	0	0	0	0	0	0,1	0,1	0,1	0,5	0	0	0
CIRVU	0	0	0	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0	0,1
CONAR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0	0	0	0	0	0	0
ECHCG	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EPHEX	0	0	0	0	0	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EPHHE	0	0	0	0	0	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0	0	0	0	0	0
EPISS	0	0	0	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0,1
ERISS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1
FESAV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	2	0	0	0	0	0
FUMOF	0	0	0	0	0	0,1	0	0,1	0	0,1	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0
FUMSS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
GALAP	0,1	0,1	0,1	0	0,1	2	0,1	2	0,1	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0
GALSS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0	0	0	0	0	0	0
GERCO	0	0	0	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
GERDI	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
GERRT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11,5	2	0	0	0	0	0
GERSS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
HORVW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
HYPPE	0	0	0	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IUNBU	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	35	35	0	0	0	0	0
LACSE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0,1	0,5	0
LAMAM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LAMPU	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11,5	0	0	0	0,1	0	0
LAMSS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1
LAPCO	0	0	0,5	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0
LEPCA	0	0	0	0	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LOLPE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5
MALNE	0	0	0	0	0	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MALSI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0	0	0	0	0	0	0
MATIN	0	0	0	0	0,1	0	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	11,5	11,5	0	0	0	0
MATSS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0
MEDSA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11,5	0	0	0	0
MYOAR	0	0	0	0	0	0	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PAPRH	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0	0,1
PIBSX	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PICEC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0	0,1
PICHI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1
PLAMA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0	0	0	0	0	0
POAAN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0	0	0	0	0	0,1	0,5	0,5	2	11,5
POATR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5	2	0	0	0	0	0,1
POLAV	0	0	0,1	0	0,1	0	0,1	0	0,1	0	0	0	35	0	0	2	0,5	0	0,1	0	0	0
POLCO	0	0,1	0	0	0,1	0	0	0	0,1	11,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
POLLA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
POLPE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RANAR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0	0	0	0

RAPRA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RUMCR	0	0	0	0,1	0	0	0	0	0	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RUMOB	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11,5	2	0,1	0	2	0,1	0,1	0	0
SCRAN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SENVU	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0,5	0	0,1	0,1	0,5	0,5	0,5	0,5
SINAL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SINAR	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SOLNI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0	0	35	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0
SONAR	0	0	0	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SONAS	0	0	0	0	0	0,1	0	0	0	0,1	0	0	0	0	0	11,5	35	0	0,1	11,5	0,1	11,5	0,1	11,5
SONOL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1
STEME	0	0	0	0	0,1	0	11,5	0	0	0,1	0	0,1	0	0	0	0	0	0	0,1	0,5	0	0	0	0
TAROF	0	0	0,5	2	0,5	0	0	0	0	0	0,1	0	0	0	0	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0
THLAR	0	0	0	0	0	0	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TRFPR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11,5	11,5	0	0	0	0	0	0	0
TRZAW	0,1	0	0	0	0	0	0	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
VERAR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0
VERHE	0,5	0	0	0	11,5	0	0,1	0,1	0	0	0	0	0	0	35	0	0	0	0	0	0	0	0	0
VERPE	0	0	0	0,1	0,1	0,5	0,1	0,1	0	0	0,1	0	0	0	11,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1
VERPO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0	0	0	0
VIOAR	0,1	0	0	0	0,1	11,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
VISCA	0	0	0	0	0	35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0,5	0	0	0	0	0	0	0
VLPMY	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11,5	0,1	0,1	0	2

\* <http://eppt.eppo.org/search.php>

### Annexe 5: Nombre de plante par m<sup>2</sup> observées à chaque stade dans chaque parcelle.

Parcelle	A1	A2	B1	B2	C1	C2	D1	D2	E1	E2	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	G1	P1	R9	P2	
Stade_A	0,1	0,2	0,6	0	0,4	0	0,1	0	0,5	0	0	0	70,4	0,1	2	12,1	47	0	0	0	1,6	0	
Stade_B	0,4	0	0,7	0,1	1,5	0,5	0,7	0,1	0,1	0	0,2	0	35	0	14,5	14	48,5	13,4	5,6	0,3	0	1,2	
Stade_C	0,6	0	12	2,5	0	47,6	36,5	4,5	0	0,4	0,1	0,2	0	0,1	23,5	82,6	8,1	0,6	29,6	4,5	0	14,5	
Stade_D	0	0	0	2,2	11,5	1	0	0	0	24,3	0	0,1	0	35	0	14	0	0,3	1,4	0,5	0	12,3	
Stade_E	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

## Annexe 6 : Caractérisation des espèces d'adventices étudiées

Code Eppo	Nom latin	Nom commun*	Famille*
AETCY	<i>Aethusa cynapium</i> L.	Aethuse cigüe, faux persil, petite cigüe	Apiaceae
AGSST	<i>Agrostis stolonifera</i> L.	Agrostide stolonifère	Poaceae
ALOMY	<i>Alopecurus myosuroides</i> HUDS.	Vulpin des champs	Poaceae
ANGAR	<i>Anagallis arvensis</i> L.	Mouron des champs, mouron rouge	Primulaceae
ANRCA	<i>Anthriscus caucalis</i> M.BIEB.	Anthrisque commun	Apiaceae
APHAR	<i>Aphanes arvensis</i> L.	Alchémille des champs	Rosaceae
AVESS	<i>Avena</i> sp. <i>Bromus hordeaceus</i> L. ssp. <i>molliformis</i> (LLOYD) MAIRE & WEILL.	Folle avoine sp. Brome mou	Poaceae
BROHM	<i>Brassica</i> sp.		Brassicaceae
BRSSS	<i>Brassica napus</i> L. ssp. <i>napus</i>	Colza de printemps	Brassicaceae
BRSNN	<i>Brassica napus</i> L. ssp. <i>napus</i>	Colza d'hiver	Brassicaceae
BRSNW	<i>Brassica napus</i> L. ssp. <i>napus</i>	Colza d'hiver	Brassicaceae
CAPBP	<i>Capsella bursa-pastoris</i> (L.) MEDIK.	Capselle bourse à pasteur	Brassicaceae
CERGL	<i>Cerastium glomeratum</i> THUILL.	Céraiste aggloméré	Caryophyllaceae
CHEAL	<i>Chenopodium album</i> L.	Chénopode blanc	Amaranthaceae
CHEPO	<i>Chenopodium polyspermum</i> L.	Chénopode polysperme, chénopode à graines nombreuses	Chenopodiaceae
CIRAR	<i>Cirsium arvense</i> (L.) SCOP.	Chardon des champs	Asteraceae
CIRVU	<i>Cirsium vulgare</i> (SAVI) TEN./AIRY-SHAW	Cirse commun	Asteraceae
CONAR	<i>Convolvulus arvensis</i> L.	Liseron des champs	Convolvulaceae
ECHCG	<i>Echinochloa crus-galli</i> (L.) P.BEAUV.	Panic pied de coq	Poaceae
EPHEX	<i>Euphorbia exigua</i> L.	Euphorbe exiguë	Euphorbiaceae
EPHHE	<i>Euphorbia helioscopia</i> L.	Euphorbe réveil matin	Euphorbiaceae
EPISS	<i>Epilobium</i> L. spec.		Rosidaea
ERISS	<i>Erigeron</i> L. spec.		Asteraceae
FESAV	<i>Festucaavernensis</i> AUQUIER, KERG. & MARKGR.-DANN.	Fétuque d'Auvergne	Poaceae
FUMOF	<i>Fumaria officinalis</i> L.	Fumeterre officinale	Papaveraceae
FUMSS	<i>Fumaria</i> L. spec.		Papaveraceae
GALAP	<i>Galium aparine</i> L.	Gaillet gratteron	Rubiacea
GALSS	<i>Galium</i> L. spec.		Rubiacea
GERCO	<i>Geranium columbinum</i> L.	Géranium colombin	Geraniaceae
GERDI	<i>Geranium dissectum</i> L.	Géranium à feuilles découpées	Geraniaceae
GERRT	<i>Geranium rotundifolium</i> L.	Géranium à feuilles rondes	Geraniaceae
GERSS	<i>Geranium</i> sp.		Geraniaceae
HORVW	<i>Hordeum vulgare</i> L., winter barley	Orge d'hiver	Poaceae
HYPPE	<i>Hypericum perforatum</i> L.	Millepertuis à feuilles perforées	Hypericaceae
IUNBU	<i>Juncus bufonius</i> L.	Jonc des crapauds	Juncaceae
LACSE	<i>Lactuca serriola</i> L./TORN.	Laitue scarole	Asteraceae
LAMPU	<i>Lamium purpureum</i> L.	Lamier pourpre	Lamiaceae
LAMSS	<i>Lamium</i> L. spec.	Lampsane (commune)	Asteraceae
LAPCO	<i>Lapsana communis</i> L.	Lampsane commune	Asteraceae
LEPCA	<i>Lepidium campestre</i> (L.) R.BR.	Passerage champêtre	Brassicaceae
LOLPE	<i>Lolium perenne</i> L.	Ray-grass Anglais	Poaceae
MALNE	<i>Malva neglecta</i> WALLR.	Mauve à feuilles rondes	Malvaceae
MALSI	<i>Malva sylvestris</i> (= <i>silvestris</i> ) L.	Mauve sylvestre	Malvaceae
MATIN	<i>Matricaria inodora</i> L.	Matricaire inodore	Asteraceae
MATSS	<i>Matricaria</i> L. spec.		Asteraceae
MEDSA	<i>Medicago sativa</i> L.	Luzerne cultivée	Fabaceae

MYOAR	<i>Myosotis arvensis</i> (L.) HILL	Myosotis des champs	Boraginaceae
PAPRH	<i>Papaver rhoeas</i> L.	Coquelicot	Papaveraceae
	<i>Pisum sativum</i> L. ssp. <i>sativum</i> convar. <i>axiphium</i> ALEF. em. C.O.LEHM.	Pois	Fabaceae
PIBSX	<i>Picris echioides</i> L.	Helminthie fausse vipérine	Asteraceae
PICEC	<i>Picris hieracioides</i> L.	Picris fausse-épervière	Asteraceae
PICHI	<i>Picris hieracioides</i> L.	Picris fausse-épervière	Asteraceae
PLAMA	<i>Plantago major</i> L.	Plantain majeur	Plantaginaceae
POAAN	<i>Poa annua</i> L.	Paturin annuel	Poaceae
POATR	<i>Poa trivialis</i> L.	Paturin commun	Poaceae
POLAV	<i>Polygonum aviculare</i> L.	Renouée des oiseaux	Polygonaceae
POLCO	<i>Polygonum convolvulus</i> L.	Renouée liseron	Polygonaceae
POLLA	<i>Polygonum lapathifolium</i> L. ssp. <i>lapathifolium</i>	Renouée à feuilles de patience	Polygonaceae
POLPE	<i>Polygonum persicaria</i> L.	Renouée persicaire	Polygonaceae
RANAR	<i>Ranunculus arvensis</i> L.	Renoncule des champs	Renonculaceae
RAPRA	<i>Raphanus raphanistrum</i> L.	Ravenelle	Brassicaceae
RUMCR	<i>Rumex crispus</i> L.	Rumex crépu	Polygonaceae
RUMOB	<i>Rumex obtusifolius</i> L.	Rumex à feuilles obtuses	Polygonaceae
SENVU	<i>Senecio vulgaris</i> L.	Séneçon vulgaire	Asteraceae
SINAL	<i>Sinapis alba</i> L.	Moutarde blanche	Brassicaceae
SINAR	<i>Sinapis arvensis</i> L.	Moutarde des champs, sanve	Brassicaceae
SOLNI	<i>Solanum nigrum</i> L.	Morelle noire	Solanaceae
SONAR	<i>Sonchus arvensis</i> L.	Laiteron des champs	Asteraceae
SONAS	<i>Sonchus asper</i> (L.) HILL	Laiteron rude	Asteraceae
SONOL	<i>Sonchus oleraceus</i> L.	Laiteron maraîcher	Asteraceae
STEME	<i>Stellaria media</i> (L.) VILL./CYR.	Stellaire intermédiaire	Caryophyllaceae
TAROF	<i>Taraxacum officinale</i> WEBER in WIGGERS	Pissenlit	Asteraceae
THLAR	<i>Thlaspi arvense</i> L.	Tabouret des champs	Brassicaceae
TRFPR	<i>Trifolium pratense</i> L.	Trèfle des près	Fabaceae
TRZAW	<i>Triticum aestivum</i> L., winter wheat	Blé tendre d'hiver	Poaceae
VERAR	<i>Veronica arvensis</i> L.	Véronique des champs	Plantaginaceae
VERHE	<i>Veronica hederifolia</i> (= <i>hederifolia</i> ) L.	Véronique à feuilles de lierre	Plantaginaceae
VERPE	<i>Veronica persica</i> POIR.	Véronique de perse	Plantaginaceae
VERPO	<i>Veronica polita</i> FRIES	Véronique luisante	Plantaginaceae
VIOAR	<i>Viola arvensis</i> MURR.	Pensée des champs	Violaceae
VICSC	<i>Vicia sativa</i>	Vesce cultivée	Fabaceae
VLPMY	<i>Vulpia myuros</i> (L.) C.C.GMEL.	Vulpie queue de rat	Poaceae

\*D'après REBOUD. X. Hypertextes pour la protection des plantes adventives. Encyclopédie numérique. INRA, 2000.

## Annexe 7 : Activité-densité (somme des individus piégés sur les 2 sessions) de chaque espèce de carabidé par parcelle.

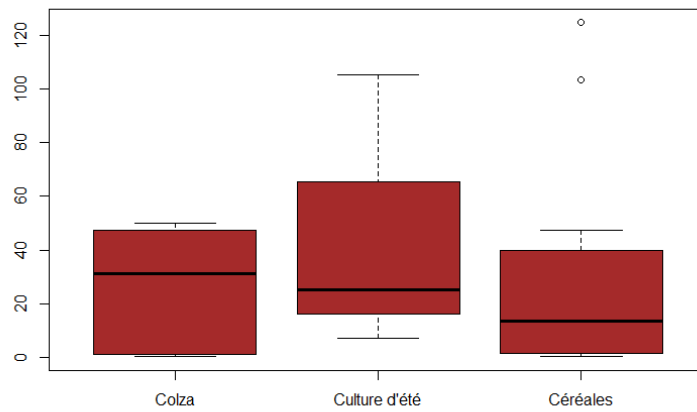
Parcelle	S1.a	S1.b	S2.a	S2.b	S3.a	S3.b	S4.a	S4.b	S5.a	S5.b	R.a	R.b	R.c	R.d	R.e	R.f	R.g	R.h	R.i	GES	P.a	P.b
Système	S1	S1	S2	S2	S3	S3	S4	S4	S5	S5	R	R	R	R	R	R	R	R	R	GES	PHPE	PHPE
A. dorsalis	14	0	1	0	1	47	20	16	1	0	0	25	0	0	15	7	1	3	12	12	23	6
A. aenea	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
A. binotatus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	3	0	0	0	0	0
A. familiaris	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
A. gr. Flavipes	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	2	0	0	2	1	0
A. montivaga	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A. meridianus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
A. muelleri	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0
A. Ovata	4	0	0	0	0	2	0	2	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A. Parallelepipedus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	1	0	0	0
A. Similata	29	0	0	0	0	5	0	6	0	1	0	23	1	0	0	1	0	0	2	0	5	0
B. crepitans	0	0	5	1	0	1	2	0	1	0	5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B. explodens	1	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B. quadrimaculatum	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B. peltatus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
B. sodadis	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0
B. sclopeta	20	0	0	0	0	43	10	13	1	0	0	17	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
C. monilis	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
D. atricapillus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0
H. affinis	1	0	0	10	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
H. cupreus	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H. distiguendus	0	0	31	0	0	1	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M. lampros	0	0	1	4	5	5	0	7	1	0	0	1	1	0	0	14	7	4	0	0	1	0
M. properans	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
L. pilicornis	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0
N. aquaticus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
N. biguttatus	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1
N. brevicollis	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0
N. quadripunctatus	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	0	0	0	0	0
N. salina	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	1	9	47	1	0
O. rufibarbis	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
P. cupreus	9	8	7	2	27	72	46	40	26	9	10	45	6	0	0	30	20	55	0	15	1	2
P. longicollis	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P. madidus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
P. melanarius	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	2	0	0	3	1	0	3	13	28	1
P. obtusa	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0
P. rufipes	0	0	8	2	0	1	1	0	0	1	2	0	1	2	0	0	0	0	7	2	1	0
S. oblogiusculus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
S. obscuroguttatus	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S. signaticornis	0	0	0	0	0	5	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Microlestes. sp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T. gr. quadristriatus	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	9	10	0	0	0	0	0

## Annexe 8 : Caractérisation des espèces de carabidés étudiées

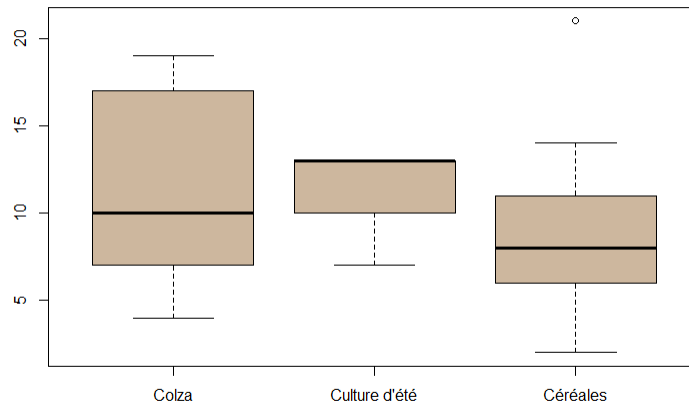
Espèce	Groupe trophique*
<i>Abax Parallelepipedus</i> (Piller et Mitterpacher 1783)	omnivore
<i>Acupalpus meridianus</i> (Linnaeus 1761)	carnivore
<i>Amara aenea</i> (De geer 1774)	granivore
<i>Amara familiaris</i> (Duftschmid 1812)	granivore
<i>Amara lunicolis</i> (Schiödte 1837)	granivore
<i>Amara montivaga</i> (Sturm 1825)	granivore
<i>Amara Ovata</i> (Fabricius 1792)	granivore
<i>Amara Similata</i> (Gyllenhal 1810)	granivore
<i>Anchomenus dorsalis</i> (Pontoppidan 1763)	carnivore
<i>Agonum muelleri</i> (Herbst 1784)	omnivore
<i>Anisodactylus binotatus</i> (Fabricius 1787)	carnivore
<i>Anisodactylus signatus</i> (Panzer 1796)	inconnu
<i>Asaphidion gr. Flavipes</i> (Linnaeus 1761)	carnivore
<i>Badister peltatus</i> (Panzer 1796)	carnivore
<i>Badister sodadis</i> (Duftschmid 1812)	carnivore
<i>Benbidions quadrimaculatum</i> (Linnaeus 1761)	carnivore
<i>Brachinus crepitans</i> (Linnaeus 1758)	carnivore
<i>Brachinus explodens</i> (Duftschmid 1812)	carnivore
<i>Brachinus sclopeta</i> (Fabricius 1792)	carnivore
<i>Carabus monilis</i> (Fabricius 1792)	carnivore
<i>Demetrias atricapillus</i> (Linnaeus 1758)	carnivore
<i>Harpalus affinis</i> (Fabricius 1775)	granivore
<i>Harpalus cupreus</i> (Dejean 1829)	granivore
<i>Harpalus distiguendus</i> (Duftschmid 1812)	granivore
<i>Laemostenus. terricola</i> (Herbst 1783)	inconnu
<i>Loricera pilicornis</i> (Fabricius 1775)	carnivore
<i>Metallina lampros</i> (Herbst 1784)	carnivore
<i>Metallina properans</i> (Stephens 1828)	carnivore
sp	inconnu
<i>Nebria brevicollis</i> (Fabricius 1792)	carnivore
<i>Nebria salina</i> (Fairmaire et Laboulbène 1854)	carnivore
<i>Notiophilus aquaticus</i> (Linnaeus 1758)	carnivore
<i>Notiophilus biguttatus</i> (Fabricius 1779)	carnivore
<i>Notiophilus quadripunctatus</i> (Dejean 1826)	carnivore
<i>Ophonus rufibarbis</i> (Fabricius 1792)	granivore
<i>Pedius longicollis</i> (Duftschmid 1812)	inconnu
<i>Philochtus mannerheimii</i> (C. R. Sahlberg 1834)	carnivore
<i>Phyla obtusa</i> (Audinet-Serville 1821)	carnivore
<i>Poecilus cupreus</i> (Linnaeus 1758)	omnivore
<i>Pseudophonus rufipes</i> (De Geer 1774)	granivore
<i>Pterostichus madidus</i> (Fabricius 1775)	omnivore
<i>Ptérostichus melanarius</i> (Illiger 1798)	omnivore
<i>Scybalicus oblongiusculus</i> (Dejean 1829)	inconnu
<i>Semiophonus signaticornis</i> (Duftschmid 1812)	granivore
<i>Syntomus obscuroguttatus</i> (Duftschmid 1812)	inconnu
<i>Trechus gr. Quadristriatus</i> (Schrank 1781)	carnivore

\*D'après Dajoz (2002), Brooks (2012), Trichard (2014) et Roger (2014)

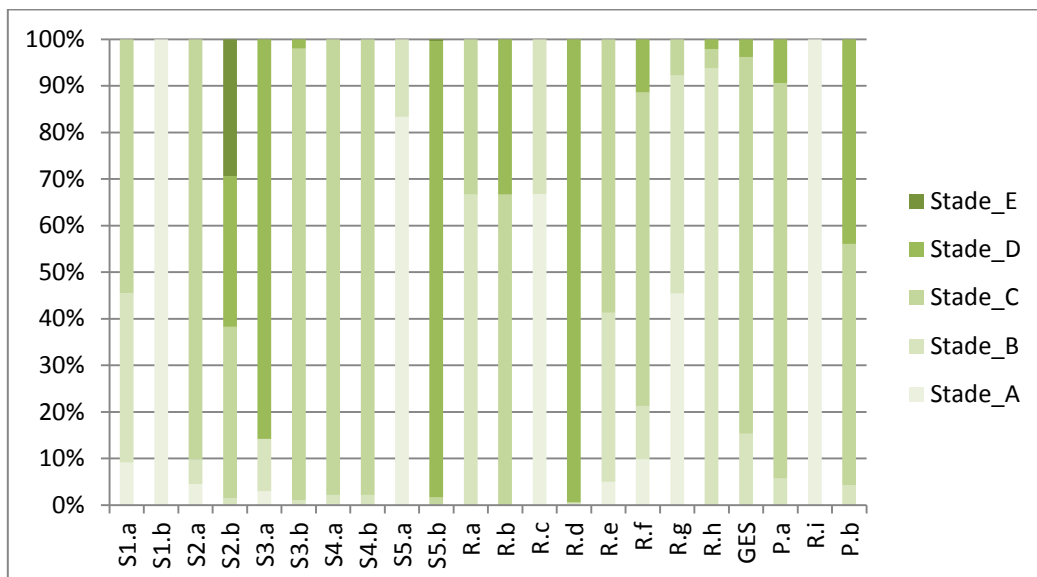
### Annexe 9 : Abondance de la flore adventice par culture



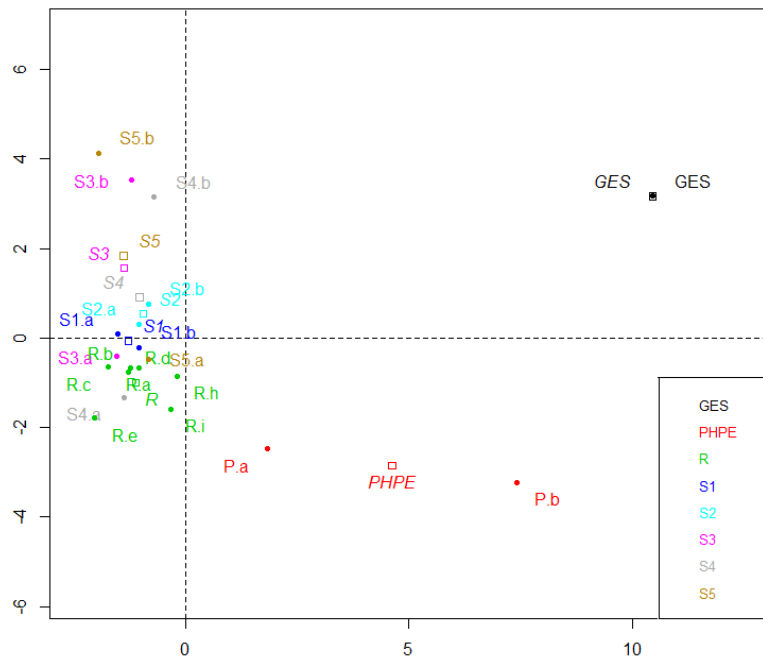
### Annexe 10 : Richesse spécifique de la flore par culture



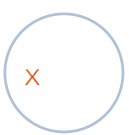
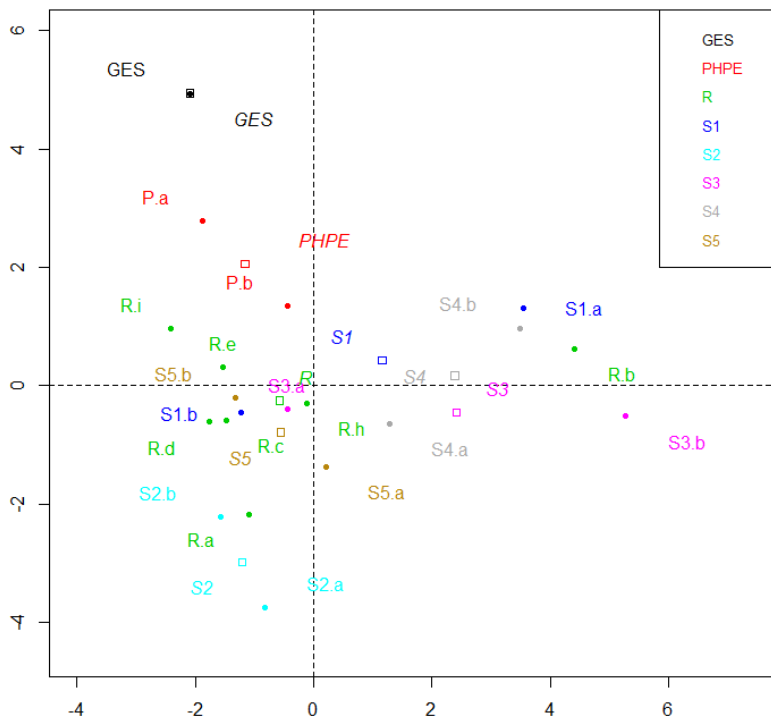
### Annexe 11 Proportion des stades de flores adventices dans chaque parcelle



## Annexe 12 : ACP de l'effet des systèmes de culture sur la flore adventice

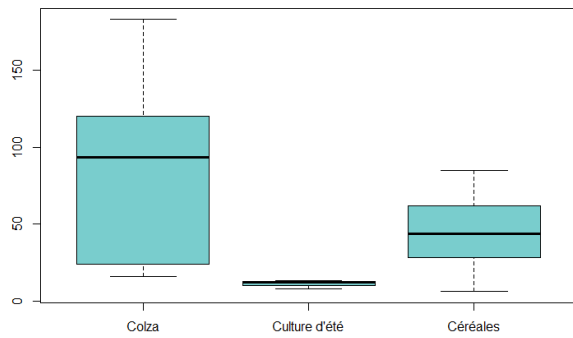


## Annexe 13 : Représentation des parcelles dans le plan de l'ACP des carabidés et mise en évidence des différents systèmes de culture

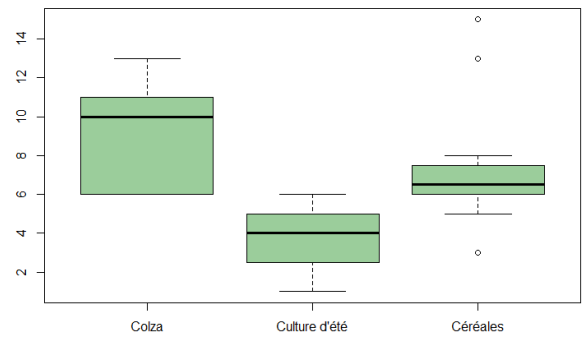




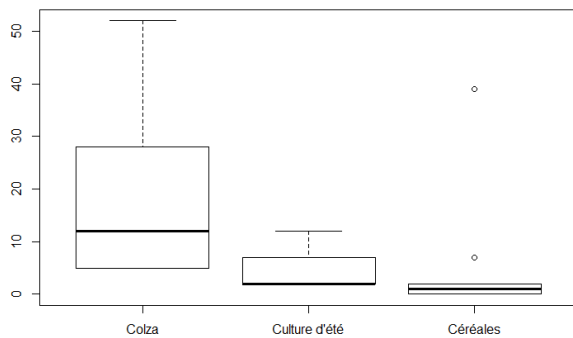
**Annexe 14 : Activité-densité des carabidés par culture**



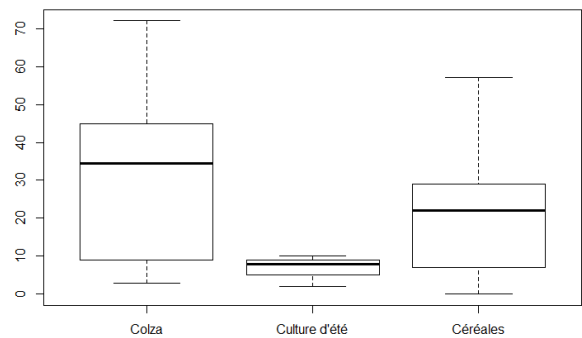
**Annexe 15 : Richesse spécifique en carabidés par culture**



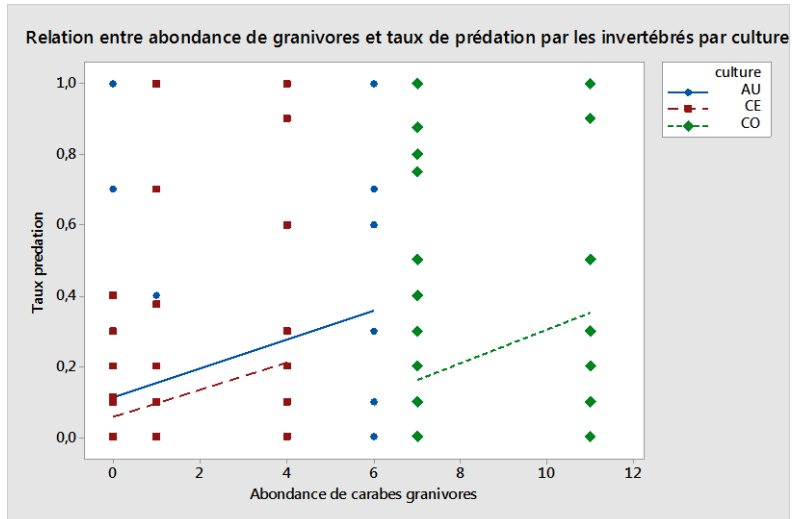
**Annexe 16 : Activité-densité des granivores par culture**



**Annexe 17 : Activité-densité des omnivores par culture**



**Annexe 18 : Relation entre activité-densité de granivores et taux de prédation par les invertébrés par culture**



### Annexe 19: Matériel statistique

A.F. Zuur et al. *Mixed Effects Models and Extensions in Ecology with R*, Statistics for Biology and Health, Springer Science+Business Media, 2009. p. 566. ISBN: 978-0-387-87458-6 9

Francois Husson, Julie Josse, Sebastien Le and Jeremy Mazet (2014). *FactoMineR: Multivariate Exploratory. Data Analysis and Data Mining with R*. R package version 1.26. <http://CRAN.R-project.org/package=FactoMineR>

HUSSON. F., LE. S., PAGES. J. *Analyse de données avec R*. Rennes : Presse universitaire de Rennes, 2009. p. 224. ISBN : 978-2-7535-0938-2.

R Development Core Team (2005). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL: <http://www.R-project.org>.

# Résumé

Les systèmes de protection intégrée des cultures sont étudiés comme une alternative à l'agriculture conventionnelle. Ils utilisent différentes solutions pour lutter contre les ennemis des cultures et en particulier les adventices. Des études ont montré que les carabidés pouvaient réduire la banque de graine d'adventice mais aucune ne montre si les systèmes de culture économe en pesticides favorisent leur prédation. C'est donc ce qui a été étudié pendant ce stage.

Ce projet a été mené sur 22 parcelles réparties dans toute la France, en trois types de culture (colza, céréales, cultures d'été) et 8 systèmes de culture. Il a alors été montré que les cultures affectaient les communautés de carabidés (i) et de flore adventice (ii) avec notamment la présence de plus de carabidés et d'une plus grande diversité de granivores dans les colzas que dans les autres cultures, tout comme un taux de prédation plus importante (iii). Aussi la prédation par invertébrés est apparue très corrélée à l'activité-densité des granivores (iv). Des effets régions ont aussi été observés (v). Il n'a cependant pas été possible de mettre en évidence de différences entre les systèmes de cultures à causes des effets trop importants des cultures et des régions. Il serait donc nécessaire de mettre en place une nouvelle expérimentation avec des systèmes répartis de manière équivalente par région et par culture.

# Abstract

Integrated pest management crops systems are studied as an alternative to conventional agriculture. They use different solutions to struggle against pests like weeds. Studies have shown that carabids can reduce the weed seedbank but none show if an integrated pest management system can improve the weed seed predation by carabids.

This project studied the effects of crop systems on weed and carabid communities and on weed seed predation (total and by invertebrates). Using data from 22 arable fields at the France national scale, distributed in 3 types of crops (winter oilseed rape, cereals and summer crops) and 8 crop systems, we shown that crops had an impact on weed (i) and carabid (ii) communities with higher activity-density of carabids and higher diversity of granivorous in winter oilseed rape, same as an higher predation rate (iii). We also shown that predation by invertebrates was strongly and positively correlated to granivorous activity-density and that there was a region effect as well (v). Nevertheless we did not highlight a crop system impact because of crop and region effects. Thas is why it would be interesting to set up a new experiment with a same distribution of crops and regions in the crop systems.