

Les entomophages en grandes cultures : diversité, service rendu et potentialité des habitats

Maillet-Mezeray J.¹, Dor C.¹, Chapelin-Viscardi J.D.², Lasserre-Joulin F.³, Noirtin B.³, Villerd J.³, Rabourdin N.⁴, Landé N.⁵, Cariolle M.⁶, Wartelle R.⁷, Sarthou V.⁸, Plantegenest M.⁹, Baudry J.¹⁰, Fontaine L.¹¹

¹ ARVALIS- Institut du Végétal, Station expérimentale, 91720 Boigneville

² Laboratoire d'éco-entomologie, 5 rue Antoine Mariotte, 45000 Orléans

³ UMR 1121 Nancy-Université – INRA "Agronomie-Environnement" Equipe Agriculture Durable - ENSAIA, 2 Avenue Forêt de Haye- 54500 Vandoeuvre

⁴ ACTA, 149 rue de Bercy 75 595 Paris Cedex 12

⁵ CETIOM, avenue Lucien Brétignières, 78850 Thiverval-Grignon,

⁶ ITB, 45 rue de Naples 75008 Paris

⁷ Chambre régionale d'agriculture de Picardie, 19 bis rue Alexandre Dumas 80 096 Amiens cedex 03

⁸ Syrphys Agro-Environnement, Le Soulas 31470 Bonrepos sur Aussonnelle

⁹ UMR 1099 BiO3P INRA-Agrocampus Ouest-Université 65 rue de St Brieuc 35 042 Rennes cedex

¹⁰ INRA SAD Paysage – 65 rue de Saint Brieuc 35042 Rennes cedex

¹¹ ITAB, 149 rue de Bercy 75595 Paris Cedex 12

Correspondance : julie.mailletmezeray@bayer.com

Résumé :

Le projet CAS DAR « Les entomophages en grandes cultures : diversité, service rendu et potentialité des habitats » s'est déroulé de 2009 à 2011, animé par ARVALIS-Institut du végétal. Ce projet s'inscrit à la fois dans un contexte d'évaluation de la biodiversité en milieu agricole et de réduction de l'emploi des produits phytosanitaires. Il s'intéresse tout particulièrement aux entomophages que sont les Carabidés et les Syrphidés et a pour objectifs d'évaluer 1) la participation des grandes cultures au maintien de la diversité de ces familles, 2) l'effet des pratiques agricoles et aménagements sur ces espèces, 3) leur rôle de régulation des populations de ravageurs dans des contextes paysagers différents.

Pour atteindre ces objectifs, différentes expérimentations ont été mises en place dans trois régions de grandes cultures (Rhône-Alpes, Centre - Ile-de-France, Picardie). Quarante-cinq parcelles réparties sur 11 paysages différents ont été suivies à l'aide de pièges Barber, pièges à émergence, pièges cornet, tentes Malaises. Cela représente plus de 21 000 relevés pour la faune épigée et 9000 pour la faune volante. De nombreux résultats ont pu être obtenus mettant en avant la diversité des espèces rencontrées en milieux agricoles de grandes cultures et l'effet des pratiques agricoles ou des aménagements sur ces différentes communautés.

La « production » d'auxiliaires peut être assurée par la mosaïque des cultures, les milieux semi-naturels assurant la pérennité des populations. Des expérimentations innovantes d'évaluation du service rendu par les Carabidés et les Syrphidés ont été conduites en parallèle. Pour répondre à cette problématique, des expérimentations au champ et au laboratoire ont été mises en œuvre permettant une première approche dans l'évaluation des services rendus par les auxiliaires. Enfin, des outils d'aide à la décision visant à estimer, pour le conserver et l'améliorer, le potentiel entomophage, carabes et syrphes, d'une exploitation ont été proposés.

Mots-clés : Carabidés, Syrphidés, grandes cultures, diversité, auxiliaires, service rendu, aménagements agro-écologique.

Abstract: Entomophagous in crops: diversity, service provided and potentialities of habitats.

Project CASDAR 'Entomophagous in crops: diversity, ecosystemic service and potentiality of habitats' ran from 2009 to 2011, coordinated by ARVALIS-Institut du végétal. This project fits both in the context of assessment of biodiversity in agricultural areas and reduction of the use of plant protection products. It is particularly interested in the Entomophagous carabid beetles and Syrphids and pursues the objectives to evaluate 1) the participation of crops to the conservation of the diversity of these families, 2) the effect of farming practices and ecological infrastructures on these species, 3) their role in regulation of pest populations in different landscape contexts.

To achieve these objectives, various experiments were implemented in areas of field crops in three regions (Rhône - Alpes, Centre - Ile - de - France, Picardie). Forty-five plots spread over 11 different landscapes were surveyed using Pitfall traps, emergence traps, cornet and tents malaise traps. This represents more than 21,000 records for aboveground fauna and 9000 for flying fauna. Results demonstrated the diversity of species encountered in agricultural areas of field crops and the effect of farming practices or ecological infrastructures on these various communities. 'Production' of beneficials can, indeed, be ensured by the mosaic of cultures, semi-natural environments ensuring the sustainability of the populations. Innovative experiments of evaluation of the service provided by carabid beetles and syrphids were carried out in parallel. To answer this question, field and laboratory experiments were implemented to evaluate services provided by the auxiliary fauna. Finally, decision-support tools made to estimate, ground beetles, syrphid, and entomophagous potential to conserve and improve it, in a farm have been proposed.

Keywords: beetles hover fly, arable crops, diversity, benefits, ecological infrastructures.

Introduction

Le projet CAS DAR « les entomophages en grandes cultures : diversité, service rendu et potentialité des habitats » soutenu par le Ministère de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Pêche a été animé par Arvalis – Institut du Végétal de 2009 à 2011. Ce projet rassemble huit autres partenaires techniques : Chambre régionale d'agriculture de Picardie, ENSAIA - INPL, ACTA, CETIOM, ITB, ITAB, INRA Rennes (SAD Paysage et Bio 3P).

Ce projet vise à évaluer la diversité et le service rendu par les entomophages dans les systèmes de grandes cultures. Il s'intéresse tout particulièrement aux entomophages que sont les Carabidés et les Syrphidés ainsi qu'à leurs proies de prédilection que sont les pucerons et les limaces.

Trois objectifs principaux sont poursuivis :

- Evaluer la diversité et l'abondance des Carabidés et Syrphidés en grandes cultures en fonction des pratiques et des aménagements,
- Identifier et tester les moyens utilisables pour mesurer les services rendus, pour évaluer le contrôle biologique des ravageurs exercé par ces populations d'entomophages en tenant compte des caractéristiques propres à l'aménagement agro-écologique des parcelles (haie et bande enherbée), des caractéristiques du paysage et des pratiques agricoles sur les parcelles adjacentes (types de conduite phytosanitaire en particulier),
- Proposer une méthode d'évaluation de la potentialité d'hébergement ou de refuge des habitats.

Les différents suivis sont réalisés dans trois régions : Picardie, Centre – Ile-de-France et Rhône-Alpes. Ils sont mis en place sur différents territoires. En Picardie, deux territoires (13 parcelles en 2009 et 2010, 4 en 2011) sont suivis par la Chambre régionale d'agriculture. En Centre – Ile-de-France, trois territoires suivis par ARVALIS - Institut du Végétal, font l'objet de suivi (15 parcelles en 2009 et 2010, 4

en 2011). Enfin, en Rhône-Alpes, six territoires (16 parcelles en 2009, 14 parcelles en 2010) sont suivis par l'ACTA.

1. Méthodologie

Dans cette partie, nous présenterons les différentes méthodes d'échantillonnage utilisées pour suivre les Carabidés et Syrphidés. Plus de détails sont disponibles dans la publication de Dor C., Maillet-Mezeray J, 2011. Pour les deux groupes, les identifications sont effectuées au plus haut rang taxonomique possible sous une loupe binoculaire, si nécessaire, grâce à diverses clés de détermination et conditionnés en alcool à 70°. Le recours à la dissection a pu être nécessaire pour s'assurer de l'identité de certains spécimens.

1.1 Suivi des Carabidés

Deux méthodes de piégeage sont mises en œuvre pour la capture de la faune épigée :

- La méthode de capture par piège Barber, utilisée sur l'ensemble du projet pour évaluer particulièrement l'effet des pratiques et des aménagements sur les populations de Carabidés,
- La méthode des pièges à émergence pour évaluer les émergences des populations de Carabidés en fonction des milieux et particulièrement des aménagements. Cette méthode est mise en place en années 2 et 3.

1.1.1 Méthode de piégeage par piège Barber

Les Carabidés sont recensés à l'aide de pièges Barber disposés dans la parcelle et dans l'aménagement adjacent à la parcelle. Les pots peuvent être remplis au quart d'un liquide mortel et conservateur composé en proportions égales de sel et d'eau. Du mouillant, type liquide vaisselle non parfumé est ajouté au mélange (environ 3 gouttes par litre). Installés en ligne, les pièges sont disposés de façon à ce qu'il n'y ait pas d'interaction entre eux (soit 10 mètres entre 2 pots). Une ligne est constituée de 3 pots. Le nombre de lignes à l'intérieur de la parcelle varie entre 3 et 4 selon la taille de celle-ci. On dispose ainsi une ligne à 5 m, puis à 30 et 70 m, et la dernière au centre de la parcelle si celle-ci est suffisamment grande. La dernière ligne est donc située à une distance variable, fonction de la taille de la parcelle. De la même façon, on dispose une ligne dans chaque aménagement adjacent.

Les périodes de prélèvement sont adaptées en fonction des années et des régions. Les suivis ont lieu tous les ans au printemps d'avril à juillet. En 2009, quelques suivis ont été mis en place à l'automne. Les insectes capturés sont relevés toutes les semaines. Au total, plus de 20 000 relevés ont été effectués en 3 ans sur les trois régions.

1.1.2 Piégeage dans les pièges à émergence

Le dispositif de piégeage des carabes qui émergent est composé d'un cylindre de plexiglas implantée de manière circulaire délimitant une surface de 1m² et enterré jusqu'à 15cm dans le sol. Il est recouvert d'un filet « insect proof » assurant l'imperméabilité aux carabes épigés et volants. Il est inspiré du piège à émergence décrit par Purvis et Fadl (1996). A l'intérieur du dispositif se trouvent deux pièges Barber remplis d'un mélange non attractif de capture et de conservation temporaire des individus (eau, liquide vaisselle, sel et antigel). Les dispositifs sont mis en place dans les aménagements ainsi que dans la parcelle à différentes distances de l'aménagement (5 m, puis à 30 et 70m). Selon les régions, une à deux répétitions sont mises en place sur les parcelles. Un peu plus de 1000 dispositifs ont pu être relevés en 2010 et 2011.

1.2 Suivi des Syrphidés

1.2.1 Suivi des syrphes adultes par tente Malaise et pièges cornets

L'échantillonnage se fait grâce à des « tentes Malaise », piège d'interception de type « tente-entonnoir ». Ce piège à insectes est un dispositif aérien fixe constitué d'une tente ouverte suivant ses longueurs et terminé par un récipient de récolte rempli de liquide. Ce récipient est rempli d'éthanol à

70%. Les pièges sont disposés sur les aménagements, le long de couloirs de vol. Seuls deux pièges par paysage sont nécessaires. Des pièges cornet ont également été mis en place en 2010 à 100 m de la tente Malaise.

Ce dispositif permet de caractériser, sur le modèle des tentes Malaise, l'abondance et la diversité des syrphes en grandes cultures (et permet également de piéger l'ensemble de l'entomofaune volante tout comme les tentes Malaise), mais limite la quantité de spécimens piégés, les spécimens volants entre 60 et 1,80m n'étant pas (ou moins) piégés par ce dispositif que via les tentes Malaise. Dans le cadre du projet, ces dispositifs sont utilisés en remplacement des tentes Malaise en Rhône-Alpes au vu des conditions éoliennes, et « étalonnés » en Picardie et Centre, par un positionnement à 50 m des points d'installation des tentes. Les relevés sont effectués toutes les semaines. Les insectes sont conservés dans l'alcool jusqu'au tri. Presque 900 relevés ont été effectués en 3 ans.

1.3 Autres données collectées

Tous les sites suivis sont géo-référencés d'un point de vue de leurs habitats dans un rayon de 1500 m autour des parcelles suivies. La localisation et la nature des éléments paysagers sont recensées (forêt, haie, bandes enherbées, etc). Des relevés d'assolement ont également été effectués dans la mesure du possible. L'ensemble des pièges Barber, émergence, Malaise et cornet est géo-référencé. Les itinéraires culturels sont collectés (travail du sol et pratiques phytosanitaires) ainsi que les dates d'entretien des aménagements. Des relevés de flore sont effectués sur les aménagements afin de les caractériser.

2. Diversité de ces entomophages en grandes cultures

2.1. Diversité des Carabidés et intérêt entomologique

Durant les trois années d'étude (2009 à 2011) du projet Casdar, les protocoles de suivis (de type Barber et à émergence) de Carabidés ont permis d'obtenir un échantillon national de 607 176 spécimens correspondant à 173 taxons de Carabidés. Les résultats régionaux des richesses spécifiques montrent des disparités importantes. En effet, la région Rhône-Alpes est la plus diversifiée avec un total de 123 taxons, suivie de la région Centre avec 106 taxons et de la région Picardie avec 60 taxons.

Parmi ces taxons, certaines espèces sont d'intérêt patrimonial. Ce sont des espèces qui ont un intérêt d'ordre biogéographique (espèces inconnues jusqu'alors de certains départements, voire de certaines régions) ou d'un intérêt entomologique (espèces méconnues, assez rares à très rares selon les localités). Ces espèces représentent selon la région 15 à 23,6% de la diversité des espèces rencontrées. Ce nombre important semble démontrer l'intérêt des milieux agricoles étudiés, contrairement aux idées reçues. En revanche, ces espèces remarquables ne représentent que de très faibles effectifs allant de 0,1 à 2% des Carabidés piégés selon les régions. A noter que dans le cadre d'une étude complémentaire, les Carabidés capturés dans les tentes Malaise et pièges cornets, qui ont été déterminés, mettent en évidence des espèces qui n'ont pas été retrouvées dans les pièges au sol (Chapelin Viscardi et Maillet-Mezeray, 2013).

2.2. Diversité des Syrphidés en grandes cultures et intérêt entomologique

Les protocoles de suivis des Syrphidés (de type tentes Malaise et pièges cornets) ont permis d'obtenir un échantillon national de 28 958 spécimens correspondant à 118 taxons de Syrphidés. Les résultats régionaux des richesses spécifiques montrent des disparités importantes. La région Centre - Ile-de-France est la plus diversifiée avec un total de 95 taxons, suivie de la région Rhône-Alpes avec 46 taxons et de la région Picardie avec 40 taxons. Parmi ces taxons, certaines espèces sont d'intérêt patrimonial. Comme pour les Carabidés, ce sont des espèces qui ont un intérêt d'ordre biogéographique ou entomologique.

Régions	Taxons totaux recensés	Diversité annuelle moyenne	Effectifs totaux	Nombre d'espèces remarquables	% espèces remarquables (diversité)	% espèces remarquables (effectifs)
Picardie 3 ans de suivi	60	40,67	139 251	9	15,0%	0,1%
Centre/IDF 3 ans de suivi	106	76,33	390 610	24	22,6%	0,3%
Rhône-Alpes 2 ans de suivi	123	106	77 315	29	23,6%	2,0%

Tableau 1 : Résultats de l'étude des Carabidés selon les régions

Si on analyse le régime alimentaire des espèces capturées, on observe que quelle que soit la région, les espèces aphidiphages représentent 96 % des individus capturés pour 40 à 60 % de la diversité des espèces. De la même façon, en étudiant les habitats préférentiels de ces espèces, on se rend compte que 30 % des espèces capturées sont inféodées au milieu forestier et ce, quelles que soient les régions. Des espèces de milieux forestiers peuvent donc venir prospecter dans des milieux agricoles plus ouverts utilisant les aménagements agricoles au moins pour se déplacer.

Régions	Espèces recensées	Effectifs totaux	Nombre d'espèces remarquables	% espèces remarquables (diversité)	Espèces non recensées (Syrfid juin 2012)
Picardie 3 ans de suivi	40	5845	4	10	35
Centre/IDF 3 ans de suivi	95	19 947	13	13.7	77 Essonne 26 Loiret
Rhône-Alpes 2 ans de suivi	46	3167	4	10	26 Ardèche 27 Drôme

Tableau 2 : Résultats de l'étude des Syrphidés selon les régions

2.3. Les raisons d'une telle diversité

Dans le cas des Carabidés, la richesse spécifique régionale est importante dans le cadre d'une étude réalisée en grandes cultures, et ce, pour deux régions. En effet, les régions Centre/Ile-de-France et Rhône-Alpes présentent des moyennes annuelles (respectivement 76,33 et 106 taxons) nettement supérieures aux moyennes annuelles européennes en milieu agricole (entre 30 et 55 taxons) calculées par Brunel et al. (1982). Les résultats de la région Picardie sont dans la norme. En région Centre/Ile-de-France, la diversité est quasiment équivalente aux études menées en production intégrée dans la même zone géographique (e.g. Rougon, 2001). Cette diversité et le nombre d'espèces patrimoniales important, particulièrement en régions Centre/Ile-de-France et Rhône-Alpes peuvent s'expliquer de différentes façons :

- Une pression d'observation importante à la fois en nombre de pièges et en durée du piégeage. Rappelons que les espèces d'intérêt ne concernent que 0,3% des Carabidés piégés en Centre-Ile-de-France et que 2 % des Carabidés piégés en Rhône-Alpes. Certaines espèces n'ont été rencontrées qu'en très petit nombre (si ce n'est en exemplaire unique). Ces chiffres nous renseignent alors sur leur rareté dans le milieu échantillonné et plus particulièrement sur l'effort important de piégeage à fournir pour détecter la présence de ces espèces dans la zone étudiée;
- Des milieux biogéographiques très différents, accueillant par essence des espèces spécifiques pouvant être différentes d'une région à une autre. On notera par ailleurs, que la région Rhône-Alpes était déjà connue pour sa grande richesse spécifique.
- Le milieu d'étude : certains des milieux choisis présentent des spécificités importantes. Par exemple, dans la région Centre, deux des trois sites sont situés à proximité de la forêt de Fontainebleau, connue pour sa richesse entomologique. Par ailleurs, sur la station de Boigneville, la diversité des milieux peut également être une explication. On retrouve en effet, des milieux très différents tels que pelouses calcaires, forêts mixtes, vergers, marais, milieux aquatiques (courant et stagnant). Les cultures implantées sur la station sont également très nombreuses bien que parfois représentées sur de petites surfaces (jusqu'à 15 à 20 cultures différentes, peuvent être présentes chaque année);
- La multitude des systèmes de cultures explorés : en effet, le choix a été fait de suivre une parcelle tout au long de sa rotation. De nombreuses cultures ont donc pu être explorées : blé tendre d'hiver, orge d'hiver, avoine, pois d'hiver, tournesol, betterave, pomme de terre, luzerne, maïs, colza, etc;
- Les aménagements adjacents à la parcelle ont également été suivis apportant une part importante de la diversité, servant à la fois d'habitat spécifique à certaines espèces de Carabidés bien sûr, mais aussi de couloir de vols à de nombreuses espèces de Syrphidés.

Le poids des facteurs évoqués ci-dessus sur la diversité spécifique est en revanche encore difficile à appréhender et fait, entre autres, l'objet des interventions suivantes.

Par ailleurs, et particulièrement pour les Syrphidés, il semble que le recensement d'un nombre important de nouvelles espèces soit lié soit à un défaut de prospection dans ces départements aux caractères fortement agricoles et urbanisés, soit à un défaut de publication ou de mise à jour des catalogues ou bases de données existantes. En effet, de nombreuses espèces considérées comme nouvelles, sont en fait des espèces assez communes. Enfin, l'ensemble des résultats relatifs à la diversité est disponible dans différentes publications dont on retrouvera les références complètes en fin d'article : Chapelin-Viscardi et al, 2012a ; Chapelin-Viscardi et al, 2012c ; Maillet-Mezeray et al, 2012a ; Maillet-Mezeray et al, 2012b ; Chapelin-Viscardi et al, 2012b ; Maillet-Mezeray et Chapelin-Viscardi, 2011.

3. Impact des pratiques et des aménagements sur l'abondance et la diversité des Carabidés et des Syrphidés

Situées dans des zones aux paysages contrastés, les exploitations suivies présentent des itinéraires techniques variés et un parcellaire plus ou moins aménagé. Ces dispositifs ont pour objectif la caractérisation de l'abondance et de la diversité des populations de Carabidés présentes sur les différents sites. Ils sont conçus pour estimer le rôle joué par l'aménagement parcellaire, haies et bandes enherbées principalement, sur ces populations et l'importance de la colonisation en parcelle. On s'intéresse également à caractériser l'impact des pratiques culturales (utilisation de produits phytosanitaires, travail du sol) sur les Carabidés (abondance et richesse spécifique) ainsi que l'impact

du couvert végétal, de la structure du parcellaire (taille des parcelles) ainsi que des éléments du paysage sur les communautés de Carabidés dans les trois régions d'étude.

L'impact des aménagements en bordure de parcelle, l'impact de certaines pratiques culturales ainsi qu'à une échelle plus large, l'impact de certains éléments du paysage sur les communautés de carabes ont été estimés.

3.1 Effet des pratiques sur les populations de Carabidés

Quelques résultats intéressants sont présentés dans cette partie. Les résultats détaillés peuvent être retrouvés dans différentes publications : Rabourdin et al (2011a et b) ainsi que Maillet-Mezeray et al (2012b).

3.1.1. Une activité-densité souvent plus importante en parcelles

Pour les trois régions étudiées, l'abondance est significativement plus importante au sein des parcelles cultivées que dans les aménagements (tests effectués sur les résultats des deux premières années). La richesse spécifique est équivalente dans les parcelles et dans les aménagements pour les régions Picardie et Rhône-Alpes, les tests ne montrant pas de différence significative. En région Centre, la différence est significative ; les aménagements ont une plus grande richesse spécifique. Néanmoins, les communautés des deux milieux ne semblent pas complètement différentes bien que quelques espèces spécifiques semblent inféodées à un type d'aménagement particulier et ne se retrouvent jamais dans les parcelles. A noter que l'ensemble des espèces considérées comme remarquables se retrouve à la fois dans les parcelles et les aménagements.

3.1.2. Une activité-densité en lien avec les conditions météorologiques

En première approche, l'abondance semble favorisée à des températures moyennes comprises entre 14,5 et 16,5°C, des températures minimales comprises entre 9 et 11°C et des températures maximales comprises entre 20 et 22°C. Ce sont donc des amplitudes entre 11,5 et 12,5°C qui semblent favoriser l'abondance des observations. L'effet de la pluviométrie sur l'activité-densité semble moins facile à mettre en évidence.

3.1.3. Une plus grande diversité dans les cultures d'hiver

Les comptages ont ainsi montré que les cultures de printemps (pomme de terre, betterave) favoriseraient davantage l'abondance des carabes que celles d'hiver, même si ces dernières abritent une plus grande diversité d'espèces. Mais les résultats sont variables selon les régions. En ce qui concerne les pratiques de travail du sol, les effets sont hétérogènes mais on retiendra cependant qu'il est difficile de déconnecter complètement les pratiques de travail du sol souvent relatives à une culture donnée d'hiver ou de printemps. Attention alors à ne pas confondre l'effet d'une culture avec les pratiques qui lui sont associées. On retiendra cependant qu'adultes, larves et nymphes peuvent être détruits par un labour, un déchaumage ou un décompactage. Moins mobiles, les larves et les nymphes sont d'autant plus vulnérables : le retournement de la terre peut les mettre à jour et les transformer en proies de choix pour les oiseaux insectivores ou les rendre sensibles aux périodes de gel. Mais tout dépend des espèces : certains carabes se reproduisent au printemps, d'autres en automne. Les larves ne sont donc ainsi pas présentes au même moment et au même stade dans le sol. La date et la profondeur du travail du sol doivent donc être prises en compte. Un travail du sol peu profond réalisé au printemps n'influence pas les mêmes espèces que s'il est effectué à l'automne.

De fortes spécificités régionales sont constatées : en Rhône-Alpes et en Centre – Ile-de-France, le travail du sol ne semble pas modifier l'abondance des espèces présentes. En Rhône-Alpes, il a toutefois un impact sur la diversité, favorisée par une intervention en été ou en automne. En Picardie, le travail du sol, profond, a de son côté, entraîné la sélection d'espèces très adaptées, généralistes qui se développent de manière très abondante. Celles-ci sont donc favorisées par ce type de pratique qui,

dans ce cas, tend à diminuer la diversité des espèces. A l'inverse, un travail du sol plus superficiel (parcelles en Centre – Ile-de-France) semble défavoriser cette même espèce.

Il ressort de ces résultats que la production d'auxiliaires peut être assurée par la mosaïque des cultures, les milieux semi-naturels assurant la pérennité des populations.

Une partie des analyses statistiques réalisées est consultable dans les publications de Rabourdin et al (2011a et b).

3.2 Emergence des Carabidés : potentialités des habitats

Des dispositifs d'observation spécifiques, complémentaires des pièges Barber, ont été mis en place pour évaluer l'émergence des *Carabidés* dans des zones préalablement établies de la parcelle agricole et de son environnement. Les suivis sont réalisés en parallèle sur les mêmes parcelles.

Seules quelques-unes des parcelles suivies par « pot Barber » sont équipées avec ces dispositifs de suivi d'émergence. Le faible nombre de répétitions ne permet pas de trancher de façon définitive mais ce travail préliminaire permet néanmoins une première approche de la potentialité d'émergence des Carabidés en fonction des habitats. Deux résultats principaux sont présentés ici mais d'autres éléments sont disponibles Collard et al (2011).

3.2.1 Comparaison entre parcelles cultivées et aménagements

Il existe une forte disparité des résultats en fonction des années et des sites. Il est probable également que les résultats varient selon les pratiques mises en œuvre mais il est difficile de trancher compte tenu du nombre de relevés. L'abondance moyenne par piège, par semaine et par parcelle, a été étudiée afin de mettre en évidence des différences d'émergence entre les aménagements et les parcelles adjacentes. La quantité moyenne de carabes émergeant par m² varie de façon importante par semaine au sein d'un même aménagement ou d'une même ligne. Cependant, en moyenne et toutes espèces confondues, l'émergence semble plus importante dans les aménagements que dans les parcelles.

Cela est vérifié en région Centre – Ile-de-France et en Picardie, avec quelques variations selon la nature de l'aménagement : plus d'individus semblent émerger des couverts herbacés que des haies. Pour certaines espèces, comme *Poecilus cupreus* en Centre – Ile-de-France, la présence d'une zone refuge en bordure de parcelle ne semble pas essentielle au développement des populations.

3.2.2 Population par unité de surface

En extrapolant les quantités moyennes de carabes émergés dans les dispositifs de suivis, il a été possible d'estimer la quantité de carabes émergeants par hectare, sur la durée d'une campagne de suivis. Les chiffres d'émergence sont fortement variables par région, année et parcelle comme l'illustre le Tableau 3 pour la seule région Rhône-Alpes. Les estimations oscillaient en effet entre 5000 et près d'un million de carabes/ha. L'effet site est confirmé par une comparaison des activités-densités et des richesses spécifiques totales par parcelle. Les meilleurs résultats ont été obtenus en Rhône-Alpes pour les deux indicateurs, tandis que la région Centre – Ile-de-France était celle où le plus petit nombre d'individus et d'espèces émergents étaient observés.

		Bandes enherbées	Chemin herbeux	Haie	Ligne 1	Ligne 2	Ligne 3	Ligne4
Centre	2010	27500	36667	21944	13750	25417	27292	25000
	2011		42222	34444	10741	10370	7407	absente

Tableau 3 : Nombre moyen d'individus émergeants par hectare par ligne (Région Centre).

3.2.3 Effet de l'aménagement

L'échantillon de parcelles est insuffisant pour trancher, néanmoins quelques tendances sont observées :

- Les émergences moyennes sont très variables en fonction des espèces,
- Les émergences moyennes sont très variables d'une ligne à l'autre.

On peut supposer en observant les émergences par espèce que les aménagements ne présentent pas le même intérêt pour l'ensemble des espèces présentes comme le montre le Tableau 4. Il semble en effet que certaines espèces émergent exclusivement dans les aménagements (*Calathus rotundicollis* par exemple) alors que d'autres peuvent émerger indifféremment dans les aménagements ou à l'intérieur des parcelles. La présence d'aménagements agro-parcellaires ne serait donc pas nécessaire au développement de tous les Carabidés puisque certains peuvent se développer sans problème au sein des parcelles.

Espèce	Bande enherbée	Chemin herbeux	Haie	Ligne 1	Ligne 2	Ligne 3	Ligne 4
<i>Acupalpus meridianus</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	416	416
<i>Amara aenea</i>	833	416	0.0	208	0.0	0.0	416
<i>Calathus rotundicollis</i>	833	0.0	277	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Demetrias atricapillus</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	625	416	833
<i>Harpalus affinis</i>	2500	15000	2777	1666	2083	625	2083
<i>Pterostichus melanarius</i>	833	7916	833	2291	6250	5416	2083
<i>Trechus quadristriatus</i>	3333	3333	1388	1458	625	1458	2083

Tableau 44 : Nombre moyen d'individus émergents pour quelques espèces par hectare et par ligne (Région Centre, 2010).

3.3 Eléments apportés par l'étude des Syrphidés

3.3.1 Le paysage influence les populations de syrphes

Concernant les syrphes, les comptages n'ont pas permis de mettre en évidence des pratiques culturales favorables ou défavorables sur la diversité des adultes. Une étude statistique montre que les facteurs d'influence varient énormément selon les régions, les années et les espèces considérées. La présence de forêts semble néanmoins constituer un « plus ». Les zones semi-naturelles et naturelles ont donc leur importance et cela ressort également de l'analyse de la diversité des espèces de syrphes en milieu agricole. De nombreuses espèces de syrphes capturées en milieu agricole sont en effet inféodées au milieu forestier. Leur capture dans les aménagements prouve donc ces infrastructures écologiques agricoles telles que haies, bandes enherbées et même chemins herbeux ont un rôle à jouer dans le maintien de la diversité entomologique.

3.3.2 Soigner les bords de champs

Un travail sur une partie des données relatives aux pollens consommés par les syrphes, réalisé à partir des contenus des estomacs, a quant à lui souligné l'importance des essences de bord de champ. Les résultats confirment l'intérêt des *Asteraceae* (Speight et al, 2005 ; Trinquesse, 2008 ; Couanon, 2008) et des *Apiaceae* (Speight et al, 2005 ; Couanon, 2008). L'intérêt des *Fabaceae*, et la présence de pollens de *Poaceae*, évoqués par Couanon (2008) sont donc partiellement confirmés ici. De plus, la présence de *Rosaceae*, dont le caractère favorable est reconnu (Francis, 2005), est également un des éléments se dégageant de cette analyse.

Les différentes espèces de syrphes se distinguent en fait par la famille botanique qu'elles exploitent le plus. L'analyse des plantes butinées montre qu'*Episyrphus balteatus* a visité 22 espèces floristiques différentes. Les familles sont très variées. *Melanostoma mellinum* a visité 8 espèces floristiques et *Melanostoma scalare* seulement 6 espèces floristiques butinées. *Eupeodes corollae* a visité 29 espèces floristiques, petites fleurs de la strate herbacée mais également très présentes dans les strates arbustives (troène) et arborescentes (tilleul). *Sphaerophoria scripta* a consommé 46 espèces floristiques et semble préférer les *Rosaceae*, *Brassicaceae* et *Asteraceae*. Une maîtrise de la composition des bords de champs pourrait donc s'avérer favorable au développement de cet entomophage. Plus de détails sont disponibles dans Dor et Maillet-Mezeray, 2011.

4. Qui assure le contrôle biologique dans les parcelles agricoles ? ... et comment ?

Un gros travail de bibliographie a été réalisé afin d'identifier les méthodes de test du service rendu par l'entomofaune. Différentes méthodes de test ont été utilisées pour évaluer le service rendu :

- Test au champ de la prédation des limaces par les carabes,
- Test au champ de la prédation des pucerons des épis par les carabes et les syrphes,
- Test en mésocosme.

Seuls seront présents ici les résultats des deux derniers tests. Les résultats complets de l'expérimentation au champ peuvent être retrouvés dans les publications : Landé et al, 2011 et Maillet-Mezeray et al, 2012b. Une synthèse est également disponible auprès des auteurs. Des résultats plus détaillés sur l'expérimentation en mésocosmes sont également disponibles dans la publication de Rouabah et Lasserre-Joulin (2011).

4.1 Test au champ de la prédation des pucerons des épis par les carabes et les syrphes

Le contrôle biologique est un service rendu par l'entomofaune autochtone des parcelles agricoles. En vue de combiner lutte biologique et lutte chimique, il est nécessaire de connaître les performances et les facteurs influençant ce contrôle biologique.

4.1.1 Objectif

Le dispositif expérimental mis en place cherche à répondre à plusieurs objectifs :

- Identifier quels prédateurs exercent un contrôle biologique dans les parcelles de grandes cultures céréalières,
- Evaluer la variabilité intraparcellaire de ce contrôle, son niveau d'efficacité ainsi que sa vitesse d'exécution pour orienter et combiner lutte biologique et lutte chimique,
- Identifier les éléments qui influencent ce contrôle biologique tels les aménagements de bordure de parcelle, afin de pouvoir optimiser ce service par la suite par des pratiques agricoles et des gestions de parcelles adaptées.

Pour une première expérimentation au champ, la démarche retenue a été de mesurer le bio-contrôle effectué par les auxiliaires volants et/ou rampants sur pucerons des céréales. Le dispositif expérimental a été mis en place en Centre-Ile-de-France et Picardie aux printemps 2010 et 2011. Il inclue des aménagements de bordure variés (haies et/ou bandes enherbées, pas d'aménagement).

4.1.2 Démarche expérimentale

La démarche retenue est basée sur les travaux de Schmidt et al. (2003) et Holland et al. (2008). Le principe est d'exposer « des proies sentinelles » à l'entomofaune autochtone et de suivre leur disparition au cours du temps par les mécanismes cumulés de la prédation et du parasitisme. Les

proies exposées sont des pucerons des céréales (*Sitobion avenae*) exposées sur un plant d'orge (env. 250 pucerons/plant) dans différents pièges pour comparer le contrôle biologique assuré par les auxiliaires volants et/ou rampants (Figure 1) à différentes distances du bord de la parcelle : 5m, 30m et 70m (Figure 2).

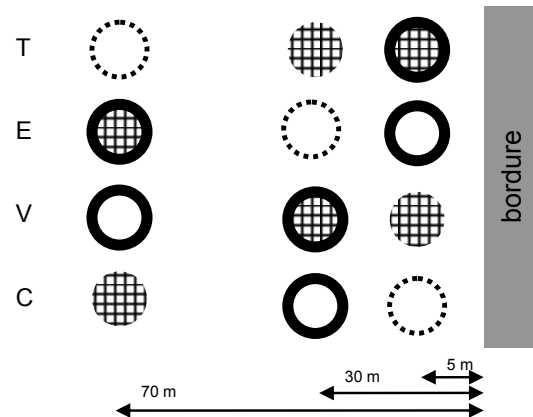
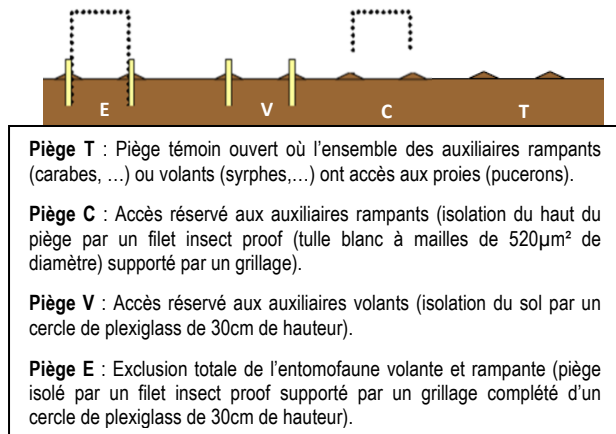


Figure 1 : Différents pièges mis en place

Figure 2 : Disposition des pièges dans une parcelle

4.1.3. Résultats

Le suivi des populations de pucerons exposées à l'entomofaune autochtone montre des résultats différents en termes d'efficacité, de rapidité, de localisation dans la parcelle et en fonction du type d'aménagement de bordure. Le contrôle biologique du puceron des céréales est principalement assuré par des auxiliaires volants. Il est surtout efficace et rapide à 5m. Par rapport à l'absence d'aménagement, il n'y a pas de différence significative (cf. figure 3) sur le contrôle biologique en terme de performance globale en présence de haie ($p=0,2657$) ou d'une bande enherbée ($p=0,1037$). Cependant, en terme de niveaux d'efficacité (cf. figure 4), le contrôle biologique est influencé positivement par la présence de haies (plus efficace, +18%), et négativement en présence de bandes enherbées (moins efficace (-11%) et moins rapide), et notamment pour les auxiliaires rampants.

Concrètement dans ces régions, pour ce ravageur, pour ces pressions (250 pucerons/m²), le délai d'une semaine avant une intervention chimique pourrait permettre au contrôle biologique de se réaliser dans 3 cas sur 4 avec une efficacité supérieure à 90%. Passé ce délai, seule la moitié des parcelles n'aurait pas atteint 90% d'efficacité et pourrait faire l'objet d'un rattrapage chimique.

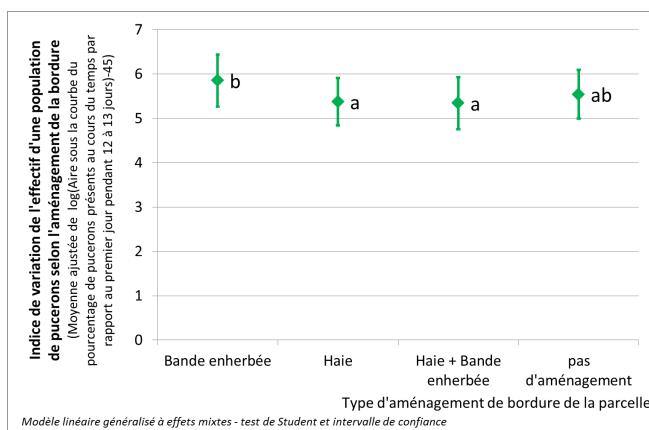


Figure 3 : performance du contrôle biologique selon l'aménagement du bord de la parcelle.

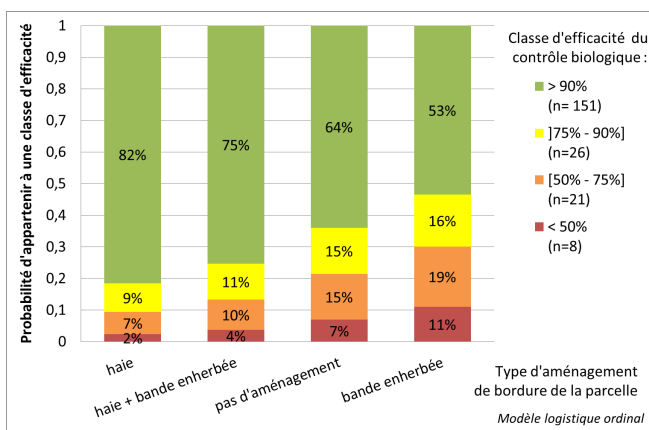


Figure 4 : niveau d'efficacité du contrôle biologique selon l'aménagement du bord de la parcelle.

Ces résultats concernent uniquement deux régions agricoles d'openfields du Nord de la France et pour un ravageur : le puceron des céréales. La transposition des résultats de ce modèle à d'autres régions de France et à d'autres pucerons devra aller au-delà de l'interprétation statistique pour identifier les mécanismes mis en œuvre entre la disparition des pucerons et la présence des auxiliaires (prédation ou parasitisme) voire comprendre la part de la diversité ou de l'activité-densité dans le phénomène de bio-contrôle afin de l'optimiser.

4.2 Evaluer le service rendu en mesurant la diversité fonctionnelle des espèces : approche exploratoire sur les Carabidés

4.2.1. Démarche expérimentale

Pour mettre en évidence la relation entre efficacité de prédation par les carabes et leur diversité fonctionnelle, une expérimentation au laboratoire, dans des conditions contrôlées ($T=20\pm 2^\circ\text{C}$, $P=14\text{J}:8\text{N}$) a été mise en place. Cette expérimentation consiste à comparer les taux de mortalité infligés à une population de proies, par des communautés (assemblages manipulés d'espèces) de carabes avec différents niveaux de diversité fonctionnelle.

Pour cela, neuf espèces de carabes, récupérées en plein champ, sont classées en groupes fonctionnels de tailles différentes en fonction de la taille de leurs proies. À partir de ces neuf espèces, des assemblages (communautés) de carabes sont créés ayant différents niveaux de diversité fonctionnelle, en manipulant leur composition en groupes d'espèces. L'objectif est d'obtenir différents niveaux de diversité de taille et, à niveaux égaux de richesse spécifique (trois espèces) et d'abondance totale en carabes (neuf carabes). Au total, neuf communautés de carabes avec trois niveaux de diversité fonctionnelle différents (élevé, moyen et faible) sont créées.

Pour vérifier si le service rendu par les carabes est corrélé positivement à leur diversité fonctionnelle, l'efficacité de prédation des communautés sur une population de proies de tailles différentes a été comparée, dans des vivariums (boîtes en plastique mesurant 60 cm de longueur sur 35 cm de largeur sur 18 cm de hauteur). Les populations de proies sont composées de 5 adultes et 20 œufs de *Deroceras reticulatum*, 10 larves de *Tenebrio molitor*, 10 œufs d'*Helix aspersa maxima* et enfin 40 larves (L2 et L3) du puceron *Rhopalosiphum padi*.

L'efficacité de prédation pour chaque communauté est présentée comme la moyenne des taux de prédation sur toutes les proies testées (P) :

P=nombre de proies attaquées/nombres de proies offertes

Afin de favoriser les communautés qui s'attaquent à une large gamme de proies, et présentent, ainsi, une meilleure complémentarité de niche concernant la prédation, un indice de prédation (IP) est également calculé :

$$IP = P \times (I / I_{max})$$

P = la moyenne des taux de prédation sur toutes les proies testées

I = Indice de Shannon calculé sur les pourcentages de mortalité des proies, pour quantifier simultanément la moyenne de prédation et la répartition des taux de prédation sur les proies. Le rapport entre **I** et **I_{max}** est appliqué pour avoir un indice de régularité compris entre 0 et 1.

4.2.2 Résultats

L'analyse de la variance montre que, quel que soit le niveau de diversité fonctionnelle des carabes, l'efficacité de prédation totale (**P**, **IP**) de ces derniers est la même. De même, il n'y a pas de différence significative concernant la suppression causée sur chacune des proies testées. En revanche, les différences d'efficacité de prédation sont plus marquées entre les différentes communautés testées. Les taux de prédation les plus élevés sont, généralement, enregistrés dans le cas des communautés avec au moins une espèce de grande taille, *Carabus auratus* notamment. Ainsi, nous pouvons dire que l'efficacité de prédation des carabes n'est pas déterminée par leur diversité fonctionnelle, mais plutôt par la présence d'espèces de grande taille. L'identité fonctionnelle jouerait donc un rôle majeur. En effet, lorsqu'une espèce de "gros" carabe est remplacée par une autre, cela ne modifie en rien le régime de prédation global: il n'y a donc pas d'effet lié à l'espèce, mais seulement à l'identité du groupe fonctionnel.

Nous pouvons conclure que l'approche des groupes fonctionnels peut ne pas confirmer ce que la logique prévoit. Ainsi, il serait intéressant de mesurer directement la diversité fonctionnelle des carabes par l'intermédiaire de traits (approche continue). Par ailleurs, continuer à se focaliser sur les traits fonctionnels des carabes, en particulier des traits s'exprimant à une échelle spatio-temporelle large, devrait augmenter notre capacité à identifier la diversité "utile" et à aborder le service rendu par ces auxiliaires. De plus amples informations sont consultables dans l'article de Villerd et al (2011).

5. Evaluer la potentialité des habitats en matière d'auxiliaires de culture

5.1 Evaluation multicritères des potentiels entomophages

Ces deux méthodes, "SyrphiX" & "CarabiX", qui prennent la forme d'outils d'aide à l'évaluation, sont destinées aux agriculteurs par le biais de leur conseiller local, auquel elles s'adressent. Elles visent à estimer un potentiel d'accueil d'auxiliaires, carabes et syrphes, à l'échelle de l'exploitation avec pour finalité la conservation ou l'amélioration de ce potentiel. Elles ont été élaborées à dire d'experts et en s'appuyant sur la fouille de données. De plus amples informations sont consultables dans l'article de Cariolle (2011).

5.1.1. Nature des outils

SyrphiX et CarabiX s'organisent en arbres de décision dynamiques accompagnés d'un livret explicatif « mode d'emploi ». L'outil DEXi (Program for multi attribute decision making) est choisi pour la construction de ces arbres. Le choix des critères initiaux les plus pertinents et leur assemblage résultent de la confrontation de l'expérience acquise, de l'analyse bibliographique notamment après une étape de fouille de données et de l'expertise des spécialistes.

Un certain nombre de points délicats apparus au cours des discussions ont été clarifiés.

- La notion d'auxiliaire renvoie à celle de "service rendu" aux cultures : on considère qu'un service rendu doit perdurer dans le temps notamment après une perturbation du milieu. On peut alors le comprendre comme la combinaison du nombre d'espèces (richesse spécifique) qui concoure à la résilience et de l'effectif par espèce (abondance) qui détermine le niveau de prédation. L'arbre de décision comporte donc quand c'est possible un volet "espèces" qualitatif et un volet "effectif" quantitatif. C'est le cas de CarabiX. Ainsi, une situation considérée comme la plus favorable correspond à une richesse spécifique élevée couplée à une abondance élevée. Cette structure n'a pas été retenue pour SyrphiX. Le suivi des syrphes sur le terrain donne une information essentiellement qualitative, l'abondance apparaît secondaire.
- La validité de l'évaluation : la construction d'un arbre de décision comporte le risque que l'évaluation faite ne corresponde pas à la situation réelle. Il a été admis qu'en l'occurrence, le risque d'évaluer un potentiel faible alors qu'il est élevé est acceptable -l'agriculteur met alors en œuvre des modifications de pratiques ou d'aménagement qui peuvent s'avérer superflues- alors que le risque de prédire un potentiel élevé alors qu'il est faible, ne l'est pas. Dans ce cas, l'agriculteur ne met pas en œuvre des modifications de pratiques ou d'aménagement qui pourtant pourraient être utiles, ce qui le prive d'un service rendu. La chaîne de décision a donc été construite sur ce principe de "pessimisme pour l'entomofaune auxiliaire".
- L'échelle d'évaluation : même si l'îlot de parcelles peut sembler « le grain » le plus pertinent pour considérer le potentiel entomophage auxiliaire, les deux outils ont été conçus, pour des raisons pratiques, pour être renseignés à l'échelle de l'exploitation. Une exploitation complexe constituée de plusieurs entités agro-écologiques distinctes fera l'objet d'autant d'évaluations. En conséquence, des critères pertinents à l'échelle de la parcelle mais non "renseignables" à l'échelle de l'exploitation n'ont pas été retenus. Cela étant, on s'est efforcé d'intégrer à l'échelle de l'exploitation, les caractéristiques qu'ils recouvrent.

5.1.2. Validation et paramétrage

Les deux outils SyrphiX et CarabiX n'en sont qu'au stade de prototypes. Leur paramétrage par défaut doit encore être testé dans différentes situations. La méthodologie de validation consiste à confronter les évaluations des situations réelles rencontrées aux résultats de piégeages obtenus. Pour les concepteurs, le paramétrage des outils prototypes peut consister à jouer sur les poids des critères initiaux comme se traduire par une refonte plus ou moins importante de l'arbre de décision y compris en ajoutant ou supprimant des critères. En revanche, pour ce qui est des outils finaux, les utilisateurs devront les adapter à leur contexte en ajustant uniquement le poids relatif des critères initiaux.

5.2 Construction d'indicateurs d'impacts des aménagements de bordure, des pratiques et du paysage sur les Carabidés (abondance et richesse spécifique)

5.2.1. Démarche

L'analyse des impacts des pratiques agricoles sur les compartiments de la biodiversité requiert des outils d'évaluation adaptés. En absence de modèle mécaniste ou statistique complexe, la construction de modèles opérationnels simplifiés du type indicateur agro-environnemental peut constituer une alternative pertinente pour un premier niveau d'aide à la décision. Une première approche, de type « top-down », consiste à construire des indicateurs basés sur des arbres de décision à partir de dires d'expert, que l'on valide ensuite avec des données de terrain de la même façon que pour les outils SyrphiX et CarabiX. Un deuxième type d'approche, de type « bottom-up », consiste à partir d'un jeu de données de terrain (issues d'expérimentations) pour construire les arbres de décision par des méthodes de classification automatique relevant des méthodes de fouille de données (Quinlan, 1986).

L'objectif de ce travail a été d'appliquer ce deuxième type de méthodes à la base de données issues des expérimentations du CASDAR afin de discriminer quels étaient les facteurs les plus déterminants

parmi les pratiques agricoles, les aménagements de bordure et les éléments du paysage sur l'abondance et la richesse spécifique des Carabidés en milieu agricole. Des résultats plus détaillés sont présentés dans la publication de Villerd et al (2011).

5.2.2 Résultats

L'exploration de cette nouvelle méthode de construction d'indicateurs (fouille de données) a permis de construire des premiers prototypes d'arbres de décision hiérarchisant les impacts des pratiques agricoles, des aménagements de bordure et du paysage sur l'abondance et la richesse spécifique des Carabidés. Dans l'attente que de tels arbres soient validés, les premières conclusions issues de leur analyse confortent certaines observations antérieures, et mettent en lumière des effets moins connus tels le rôle négatif des cultures de printemps en rang (betterave et pomme de terre) sur l'abondance et la richesse spécifique en Carabidés. Les opérations de validation et de tests de robustesse sont indispensables à la finition de ces arbres. Elles permettront de déterminer dans quels délais ces prototypes d'indicateurs seront accessibles aux utilisateurs potentiels (gestionnaires de l'espace, profession agricole,...).

5.2.3 Perspectives

La validation de ces arbres va être effectuée avec les données de l'année 2011, particulièrement au cours du projet AuxiMORE. A moyen terme, il est prévu de tester la robustesse de ces arbres en étudiant l'influence des variables d'entrée sur le niveau de variation de l'architecture finale de l'arbre, ainsi qu'en travaillant sur le niveau de précision des variables paysagères (entre 500 m et 1,5 km) prises en compte. A plus long terme, il sera également pertinent de travailler sur la mise à disposition de jeux d'arbres dont le niveau de complexité, et surtout d'accessibilité des variables d'entrée, s'adaptera au type d'usage souhaité par l'utilisateur final.

Conclusion

Ce projet CASDAR, très ambitieux dans les objectifs multiples poursuivis, a, grâce à un effort d'expérimentation et de prospection considérable, obtenu des résultats intéressants et innovants. De nombreuses publications sont déjà parues mais l'importance et la nature du jeu de données permettront encore de nombreuses analyses et publications qui nécessiteront d'être déclinées auprès d'un public varié. Il sera, en effet, possible de travailler sur des problématiques très différentes : analyse des plans d'échantillonnage nécessaire en fonction des objectifs visés (identification de la diversité des espèces), effet des pratiques et des aménagements, rôle des différents habitats au sein du milieu agricole, identification d'espèces bio-indicatrices, etc... Une partie de ce travail sera prolongé dans le cadre du projet CASDAR AuxiMORE, animé par la Chambre régionale d'agriculture de Picardie de 2012 à 2014. En matière de service rendu, de premières approches ont été proposées soulevant de nombreuses questions restant à résoudre. Ces approches doivent être complétées et améliorées afin d'identifier les mécanismes mis en œuvre dans la relation prédateur - auxiliaire voire de comprendre la part de la diversité ou de l'activité-densité dans le phénomène de bio-contrôle afin de l'optimiser.

Références bibliographiques

- Brunel E., Lahmar M., Tiberghien G., 1982. Observations préliminaires sur les populations de Carabiques (Coléoptères) dans une culture de navets attaqués par *Hylemia brassicae* Bch. (Diptère, Anthomyiidae). Meded. Fac. Landbouwwet., Rijkuniv. Gent (Belgium) 47, 581-595.
- Cariolle M., 2011. Evaluation multicritères des potentiels entomophages : "SyrphiX" & "CarabiX". Colloque de restitution du projet CASDAR « les entomophages en grandes cultures : diversité, service-rendu et potentialités des habitats ». Novembre 2011, Paris.

- Chapelin-Viscardi J.D., Collard V., Dreyfus J., Wartelle R., 2012a. Étude de Coléoptères Carabidés dans le paysage agricole du Santerre. Liste commentée et espèces remarquables pour le département de la Somme. L'Entomologiste picard. Bulletin de l'Association des Entomologistes de Picardie, 22 :36-44.
- Chapelin-Viscardi J.D., Dor C., Maillet-Mezeray J., 2012b. Etude de Coléoptères en milieu agricole de Beauce et du Gâtinais. Liste commentée et espèces remarquables. Campagnes 2010, 2011 et synthèse (Essonne et Loiret, France). L'Entomologiste 68, 3, 171 – 178.
- Chapelin-Viscardi J.D., Maillet-Mezeray J., 2013. Diversité entomologique recensée en milieux agricoles de Beauce et du Gâtinais (Essonne et Loiret, France) grâce aux pièges d'interception (Coleoptera, Heteroptera, Lepidoptera, Mecoptera, Neuroptera). L'Entomologiste 69, 1, 17 – 39.
- Chapelin-Viscardi J.D., Rabourdin N., Coulon J., 2012c. Etude des Carabidae (Coleoptera) de la plaine agricole de Pierrelatte-Tricastin. Eléments nouveaux ou intéressants pour l'Ardèche, la Drôme et la région Rhône-Alpes. Bulletin mensuel de la Société linnéenne de Lyon 81 (7-8), 159 – 176.
- Collard V., Dreyfus J., Wartelle R., Maillet-Mezeray J., 2011. Emergence des Carabidés : potentialités des habitats. Colloque de restitution du projet CASDAR « les entomophages en grandes cultures : diversité, service-rendu et potentialités des habitats ». Novembre 2011, Paris.
- Couanon T., 2008. *Importance des bandes enherbées dans le fonctionnement de la communauté des Syrphidés entomophages au sein d'un paysage agricole*. Mémoire de fin d'études pour obtenir le titre d'ingénieur de l'ENITA de Clermont-Ferrand. 41 p.
- Dor C., Maillet-Mezeray J., 2011. Impacts sur l'abondance et la diversité des syrphidae : Aller plus loin grâce aux analyses polliniques. Colloque de restitution du projet CASDAR « les entomophages en grandes cultures : diversité, service-rendu et potentialités des habitats ». Novembre 2011, Paris.
- Dor C., Maillet-Mezeray J., 2011. Méthodologie de suivi des entomophages. Colloque de restitution du projet CASDAR « les entomophages en grandes cultures : diversité, service-rendu et potentialités des habitats. Novembre 2011, Paris.
- Francis F. Fadeur G. et Haubruge E., 2005. Effet des tournières enherbées sur les populations de syrphes en grandes cultures. Notes fauniques de Gembloux 56, 7-10.
- Holland J. M., Oaten H., Southway S., Moreby S., 2008. The effectiveness of field margin enhancement for cereal aphid control by different natural enemy guilds. Biological Control 47. 71–76.
- Landé N., Pontet C., Wagner D., Perrollet S., Delayen C., Dreyfus J., Wartelle R., Dor C., Maillet-Mezeray J., 2011. Qui assure le contrôle biologique dans les parcelles agricoles ? ... et comment ? Colloque de restitution du projet CASDAR « les entomophages en grandes cultures : diversité, service-rendu et potentialités des habitats ». Novembre 2011, Paris.
- Maillet-Mezeray J., Chapelin-Viscardi J.D., 2011. Étude de Coléoptères en milieu agricole de Beauce et du Gâtinais. Liste commentée et espèces remarquables. Campagne 2009 (Essonne et Loiret, France). L'Entomologiste 67, 3, 171 – 182.
- Maillet-Mezeray J., Dor C., Landé N., 2012a. Dossier Perspectives agricoles N°386. Valoriser la biodiversité de vos parcelles. Mars 2012, 24 - 35.
- Maillet-Mezeray J., Sarthou V., Dor C., 2012b. Contribution à la connaissance des Diptères Syrphidae des départements du Loiret et de l'Essonne. L'Entomologiste 68, 6, 321-328.
- Maillet-Mezeray J., Sarthou V., Dreyfus J., Wartelle R., 2012c. Contribution à la connaissance des Diptères Syrphidae du département de la Somme. L'Entomologiste picard. Bulletin de l'Association des Entomologistes de Picardie. 5 pages.
- Purvis G., Fadl A., 1996. Emergence of Carabidae (Coleoptera) from pupation: a technique for studying the « productivity » of carabid habitats. Annales Zoologici Fennici 33, 215-223.
- Quinlan J.R., 1986. Induction decision trees. Machine Learning 1(1), 81-106.
- Rabourdin N., Dor C., Maillet-Mezeray J., 2011b. Impact des pratiques et des aménagements sur l'abondance et la diversité des carabides Colloque de restitution du projet CASDAR « les entomophages en grandes cultures : diversité, service-rendu et potentialités des habitats ». Novembre 2011, Paris.

Rabourdin N., Dor C., Maillet-Mezeray J., 2011a. Les populations de carabidés : Mesure de l'effet des types d'aménagements sur la caractéristique des communautés, AFPP, Neuvième conférence internationale sur les ravageurs en agriculture – Montpellier. 26 et 27 Octobre 2011. 13 pages.

Rouabah A., Lasserre-Joulin F., 2011. Evaluer le service rendu en mesurant la diversité fonctionnelle des espèces : approche exploratoire sur les carabidae. Colloque de restitution du projet CASDAR « les entomophages en grandes cultures : diversité, service-rendu et potentialités des habitats ». Novembre 2011, Paris.

Rougon D., 2001. Biodiversité des Carabidae des grandes cultures en région Centre. *Symbioses* 4, 27-31.

Schmidt M.H., Lauer A., Purtauf T., Thies C., Schaefer M., Tcharntke T., 2003. Relative importance of predators and parasitoids for cereal aphid control. *Proceedings of the Royal Society B* 270, 1905-1909.

Speight M., Sarthou V., Sarthou J.P., Castella E., 2007. Le syrpe, l'ordinateur et la gestion de la biodiversité. Etude réalisée par les Réserves Naturelles de Haute-Savoie, 58 p.

Villerd J., Noirtin B., Lasserre-Joulin F., 2011. Construction d'indicateurs d'impacts des aménagements de bordure, des pratiques et du paysage sur les carabidae (abondance et richesse spécifique). Colloque de restitution du projet CASDAR « les entomophages en grandes cultures : diversité, service-rendu et potentialités des habitats ». Novembre 2011, Paris.