

ARENA - Evaluation de la régulation naturelle des ravageurs en grandes cultures par les auxiliaires de cultures : réseau d'observations et construction de ressources pour intégrer ce service dans le raisonnement de la protection intégrée

Tosser V.¹, Barrier A.², Canard E.³, Cerrutti N.⁴, Cervek C.⁵, Chabert A.⁶, Chapelin-Viscardi J.-D.⁷, Lair P.⁸, Lasserre-Joulin F.⁹, Meiss H.⁹, Plantegenest M.³, Rouabah A.⁹, Sacco-Martret De Preville A.³, Therond O.⁹, Villerd J.⁹, Wartelle R.¹⁰

¹ Arvalis Institut du Végétal – Station expérimentale, F-44370 Loireauxence

² Chambre d'Agriculture des Pays de la Loire – 21 bd Réaumur, F-85013 La Roche sur Yon Cedex

³ UMR 1349 IGEPP INRAE – Agrocampus Ouest Institut Agro – Université Rennes 2 - Domaine de la Motte, F-35650 Le Rheu

⁴ Terres Inovia, Centre de Grignon – 1 Avenue Lucien Brétignières, F- 78850 Thiverval Grignon

⁵ Chambre régionale d'agriculture du Centre-Val de Loire – 13 avenue des Droits de l'Homme, F-45921 Orléans Cedex 9

⁶ ACTA, AGRAPOLE, 23 rue Jean Baldassini, F-69364 Lyon Cedex 07

⁷ Laboratoire d'Eco-Entomologie – 5 rue Antoine Mariotte, F-45000 Orléans

⁸ EPLEFPA Quétigny Plombières les Dijon - 3A route de Varanges, F-21110 Tart-le-Bas

⁹ UMR 1121 LAE INRAE- Université de Lorraine – ENSAIA - 2 Avenue de la Forêt de Haye, F-54505 Vandoeuvre-lès-Nancy

¹⁰ Chambre Régionale d'Agriculture des Hauts de France - 19 bis rue Alexandre Dumas, F-80096 Amiens Cedex 3

Correspondance : J.MARKSPERREAU@arvalis.fr

Résumé

Favoriser le contrôle biologique des ravageurs dans les agrosystèmes est un levier pour réduire l'usage des produits phytosanitaires. Le manque d'outils de quantification de ce service écosystémique est un frein à sa prise en compte dans les stratégies de protection des plantes. Les objectifs du projet ARENA (Anticiper les REgulations Naturelles) étaient de proposer des méthodes d'observation des régulations naturelles en parcelles agricoles ainsi que le développement des outils de quantification et de prévision du potentiel de contrôle biologique. Une importante campagne de suivi de ravageurs (limaces et pucerons) et de leurs ennemis naturels a eu lieu sur 171 parcelles de grandes cultures (blé, orge, colza, maïs) pendant 3 ans (printemps et automne). Sur la base des suivis réalisés, des outils de quantification du service de régulation ont été développés suivant trois axes : (1) identification de contextes agroenvironnementaux favorables à l'expression d'un niveau élevé de contrôle biologique, (2) élaboration d'un modèle statistique pour l'évaluation précoce du risque ravageur prenant en compte le potentiel de régulation biologique et (3) élaboration d'un indicateur du potentiel de régulation par les communautés d'auxiliaires au champ.

Mots-clés : contrôle biologique, ennemis naturels, système expert, modélisation statistique, réseaux trophiques

Abstract: ARENA: Assessment of pest biocontrol in arable crops by naturally occurring pest enemies: sampling network and tools to integrate this ecosystem service into integrated crop management

Promoting pest biological control within agrosystems is a way to reduce the use of pesticides. The lack of quantification tools of this ecosystem service is a major obstacle to the changes in crop protection strategies. ARENA's ambition was to build methods to observe natural pest control directly on fields, provide tools to quantify and predict natural pest control potential. An important monitoring campaign of pests (slugs and aphids) and natural enemies monitoring took place in 171 fields (wheat, barley, corn, rape). On the basis of the monitoring carried out, tools for quantifying the regulation service were developed along three lines: (1) identification of agro-environmental contexts favourable to the expression of a high level of biological control, (2) development of a statistical model for the early evaluation of pest risk taking into account the level of local biological control and (3) development of an indicator of the potential for regulation by communities of beneficials in the field.

Keywords: natural enemies, slugs, aphids, biological control, expert system, statistical modelling, trophic networks, environmental DNA.

Introduction

Piloter les cultures en se basant davantage sur les services écosystémiques liés à la biodiversité fonctionnelle est un des piliers de l'agroécologie (Malézieux et Ozier-Lafontaine, 2013). Favoriser ces processus naturels en combinaison avec d'autres leviers permet de réduire le recours aux produits phytosanitaires et ainsi réduire les effets non intentionnels des activités agricoles sur les différents compartiments de l'environnement (Le Roux et al., 2008).

Les grandes cultures sont soumises à d'importantes pressions des ravageurs qui occasionnent des dégâts et des pertes de rendement. Parmi les plus nuisibles se trouvent les limaces et les pucerons. Ces derniers peuvent être à l'origine de la transmission de virus aux plantes, principalement à l'automne La Jaunisse Nuisante de l'Orge (JNO), par exemple, a causé d'importantes pertes ces dernières années en France, sur céréales à paille (le différentiel de rendement peut atteindre 60 q/ha entre des parcelles d'orge traitées et non traitées – Bousquet, 2015). Les limaces, quant à elles, peuvent causer la destruction totale des semis de grandes cultures (principalement colza et tournesol), lorsque les conditions leur sont favorables. Enfin, les attaques de pucerons des épis sont moins problématiques que celles des ravageurs cités précédemment mais surviennent en moyenne une année sur 5 et peuvent occasionner des pertes allant jusqu'à 25 q/ha (Arvalis Institut du Végétal, 2016).

Depuis plusieurs années, des politiques incitatives ont vu le jour en France et en Europe pour diminuer le recours aux produits phytosanitaires et rendre les productions agricoles plus durables (Potier, 2014). Bien que de nombreuses études aient démontré l'action des auxiliaires de cultures dans la régulation des ravageurs (Chabert et Gandrey, 2005 ; Holland et al., 2008) ainsi que les effets des pratiques agricoles et du paysage sur ces populations d'ennemis naturels (Chaplin-Kramer et al., 2011 ; Puech et al., 2014 ; Marrec et al., 2015), les outils de quantification et de prédiction de ce service écosystémique restent rares. Pourtant, élaborer de tels outils est indispensable pour accompagner la profession agricole dans le changement des méthodes de production, mais ce n'est pas une tâche aisée et elle nécessite souvent des moyens humains et financiers conséquents.

En se basant sur ces constats et sur les acquis des travaux de recherche en cours et passés, le projet ARENA a eu pour objectifs de co-construire avec les conseillers, agriculteurs et acteurs de l'enseignement agricole des ressources leur permettant : (i) d'apprécier le potentiel de régulation assuré par les auxiliaires, (ii) d'intégrer cette information dans le pilotage de la protection intégrée des cultures.

Le projet s'est concentré sur les grandes cultures (blé, orge, colza, maïs) et le suivi des limaces et des pucerons (de printemps et d'automne).

La réalisation du projet a reposé sur un partenariat entre Arvalis Institut du Végétal, l'ACTA, Terres Inovia, les Chambres d'Agriculture des Hauts de France, du Centre Val de Loire, des Pays de la Loire, l'Université de Lorraine, l'UMR IGEPP INRAE/L'Institut Agro - AgroCampus Ouest et l'EPLEFPA de Quétigny Plombières les Dijon.

1. Attentes de la profession agricole quant aux régulations naturelles

Afin de développer des ressources utiles à la profession agricole, la première étape a consisté à recenser les besoins actuels des publics cibles du projet (conseillers agricoles en priorité, agriculteurs) en termes d'information concernant les régulations naturelles.

1.1 Enquêtes auprès de conseillers et agriculteurs

Deux enquêtes ont été réalisées en 2018 et 2019, par les étudiants de l'IUT Nancy-Brabois auprès d'un panel de conseillers agricoles et d'agriculteurs. Les questionnaires ont été établis par les étudiants, en concertation avec les partenaires du projet. Ils ont recueilli les informations suivantes:

- État des lieux des pratiques actuelles : appréciation personnelle du niveau de connaissances sur les auxiliaires de cultures et les régulations biologiques, intérêt pour le sujet, informations utilisées pour conduire les cultures / conseiller les agriculteurs, réalisation d'observations d'auxiliaires et de ravageurs en parcelles, pratiques déjà mises en place sur les exploitations pour favoriser les régulations biologiques ;
- Attentes sur la régulation naturelle : quels besoins de connaissances, d'outils, de protocoles, moyens etc., souhaités ;
- Difficultés rencontrées pour intégrer ces processus dans la conduite des cultures / le conseil.

Les questionnaires ont dans un premier temps été diffusés par mail, sur le site web et la page Facebook du projet et via le réseau des chambres d'agriculture. Des relances téléphoniques ont ensuite été effectuées pour maximiser le nombre de réponses.

L'objectif n'était pas de constituer un échantillon représentatif des agriculteurs et conseillers en grandes cultures. L'enquête réalisée en 2018 auprès d'agriculteurs a recueilli 153 réponses. Les personnes interrogées proviennent du Grand Est et de la moitié Nord de la France ; 62 % des exploitations sont en polyculture-élevage, principalement en agriculture raisonnée (44 %) et en agriculture biologique (26 %). L'enquête réalisée en 2019 auprès des conseillers a permis de recueillir 128 réponses. Les personnes interrogées proviennent en majorité du Nord de la France et travaillent majoritairement en chambres d'agriculture.

1.2 Résultats

Les enjeux liés aux auxiliaires de cultures et aux régulations naturelles intéressent les personnes interrogées : 89 % des conseillers et 75 % des agriculteurs y voient un intérêt écologique et économique. 87 % des conseillers considèrent leur niveau de connaissance sur les régulations naturelles comme « moyennement satisfaisant » à « satisfaisant » alors que 85 % des agriculteurs estiment qu'ils ne sont « pas assez informés » à « moyennement bien informés ». Ainsi, les attentes sont fortes et ce sujet représente un enjeu stratégique de formation et d'information.

Concernant l'origine des informations mobilisées pour raisonner les traitements contre les ravageurs, les agriculteurs se basent en majorité sur : la présence de dégâts ou symptômes sur les parcelles (57 % des répondants), la présence de ravageurs (49 %), les indications du conseiller (40 %) (Figure 1).

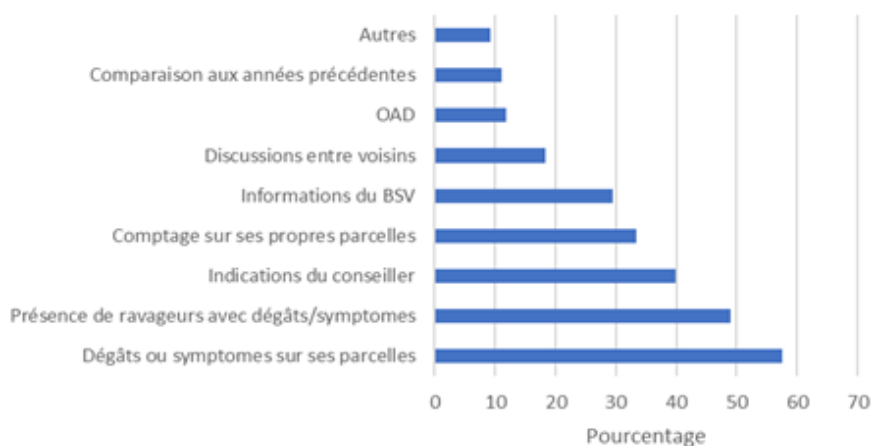


Figure 1 : Sources des informations mobilisées par les agriculteurs ayant répondu à l'enquête (n = 153) pour raisonner leur stratégie de protection des cultures contre les ravageurs

74 % des conseillers qui ont répondu à l'enquête utilisent « toujours » ou « souvent » leurs propres observations pour conseiller les agriculteurs, afin d'adapter leurs conseils à la situation de la parcelle. Ils cherchent également à tirer de leurs observations des éléments concrets à inclure dans leurs conseils. Les agriculteurs consacrent en majorité moins de 2 h par semaine à l'observation des ravageurs sur leurs parcelles (65,5 % des répondants) et moins de 1 h à l'observation des auxiliaires des cultures (64 % des répondants). 54 % des conseillers consacrent plus de 2 h par mois à ces mêmes observations.

Les attentes en matière de ressources sur la régulation naturelle exprimées par les conseillers agricoles peuvent être regroupées en plusieurs catégories (Figure 2) :

- Besoin de connaissances et d'outils de prédiction : 70 % des conseillers souhaitent avoir accès à des résultats quantifiant la régulation naturelle, 67 % ont besoin de connaissances sur l'écologie des auxiliaires, et 51% souhaitent des outils de prévision du potentiel de régulation.
- Observation des régulations naturelles : 43% des conseillers interrogés souhaitent pouvoir disposer de fiches d'identification des ravageurs et des auxiliaires, 34% de protocoles de suivis et 32% de formations aux méthodes d'identification des auxiliaires

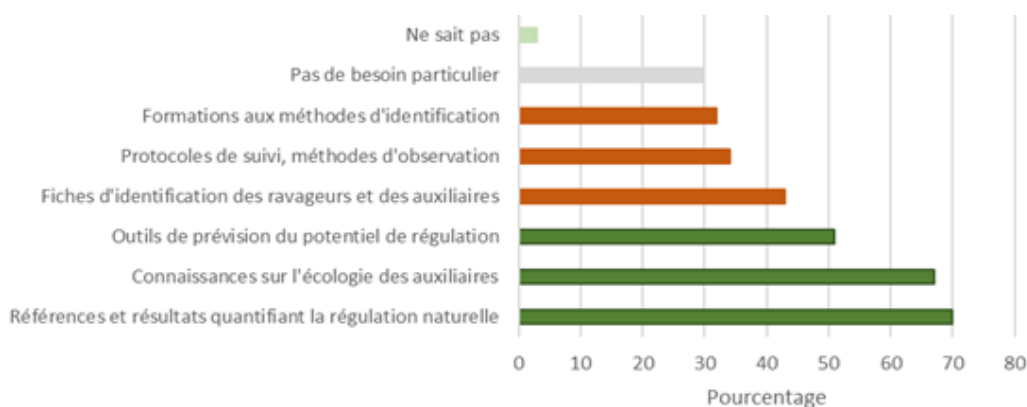


Figure 2 : Attentes exprimées par les conseillers agricoles interrogés (n = 128) quant aux informations et ressources souhaitables sur la régulation naturelle.

Les agriculteurs expriment des questionnements similaires : quelles pratiques favorisent les auxiliaires, quels sont leurs modes d'action, quels conseils sur la surveillance des ravageurs, quel plan de lutte intégrée adapté. Pour accéder à ces informations, les agriculteurs interrogés préfèrent des moyens de communication suivants : Newsletters envoyées par email (63 %), site internet avec des outils d'aide à la décision (48 %), réunions et formations (29 %).

Les réponses illustrent donc les attentes portant sur une meilleure compréhension des interactions écologiques qui se déroulent au sein des parcelles agricoles et à proximité.

Enfin, les conseillers agricoles expriment les difficultés suivantes pour prendre en compte les régulations naturelles dans leurs conseils :

- Difficulté de quantifier financièrement les coûts et bénéfices des régulations naturelles (72 %)
- Manques de preuves scientifiques de leur efficacité (48 %)
- Dégâts trop importants en cas de non-traitement (34 %)

Pour explorer les voies de réponse aux attentes, les enquêtes réalisées auprès des conseillers agricoles et agriculteurs ont abouti au recensement des besoins quant aux régulations naturelles. Les travaux réalisés au cours du projet ont visé à répondre aux demandes exprimées. Ces éléments sont résumés dans le Tableau 1.

Tableau 1 : Besoins exprimés par les conseillers agricoles et agriculteurs enquêtés et réponses apportées par le projet ARENA

Besoin exprimé	Réponses apportées par le projet ARENA
Comment observer les régulations naturelles au champ ?	Protocoles d'observation des auxiliaires et ravageurs Outils d'observation innovants
Comment reconnaître les auxiliaires et ravageurs ?	Fiches bilans de connaissances Site web ressources
Quels sont les facteurs de régulation ?	Analyse de contenus stomacaux Cartes de prédation
A quel point peut-on espérer compter sur les régulations naturelles ?	Outils DEXi-ARENA et I-ARENA
Quel est l'impact des décisions de l'agriculteur ?	Fiches de retours individuelles Prototype de grille de prévision du risque pucerons des épis tenant compte de la présence des auxiliaires

2. Observation des auxiliaires et des régulations naturelles en parcelles agricoles

Afin de mieux comprendre les interactions entre les auxiliaires et les ravageurs, et proposer des ressources utiles pour mesurer et prévoir les régulations naturelles, une partie importante du projet a consisté à réaliser des observations en parcelles agricoles et expérimentales.

2.1 Observations d'auxiliaires et ravageurs en parcelles

La majeure partie des observations réalisées portent sur les dynamiques des populations d'auxiliaires et de ravageurs, sur les mêmes parcelles et aux mêmes périodes. L'ensemble des données acquises ont été centralisées dans une base de données, utilisée pour conduire les analyses statistiques et les outils de prévision du potentiel de régulation des ravageurs

2.1.1 Organismes étudiés et méthodes d'observation

Le projet ARENA s'est concentré sur la régulation des limaces et pucerons (printemps et automne) en grandes cultures. Leurs principaux ennemis, dès qu'ils l'ont été, ont été observés à tous les stades (œufs, larves, adultes). Pour y parvenir, plusieurs méthodes ont été choisies en concertation avec l'ensemble des partenaires. Celles-ci semblaient constituer le meilleur compromis entre la faisabilité et la précision des données acquises. Les méthodes d'observation retenues pour chaque type d'organisme sont résumées dans le Tableau 2.

Tableau 2 : Organismes suivis au cours du projet ARENA et méthodes d'observation

Organismes	Pots Barber	Pièges à limaces
Limaces	X	X
Carabes	X	
Staphylin	X	

Organismes	Pots Barber	Observations visuelles	Cuvettes jaunes	Aspirations
Pucerons		X	X	X
Syrphes		X	X	X
Coccinelles		X	X	X
Chrysopes		X	X	X
Momies de pucerons		X		X
Hyménoptères parasitoïdes			X	X
Araignées et opilions	X	X	X	X

2.1.2 Protocoles d'observation des auxiliaires et ravageurs

Pour acquérir des connaissances sur les dynamiques des populations de limaces et de pucerons de printemps et d'automne, les observations ont eu lieu au cours des deux saisons des années 2017, 2018 et 2019. Deux niveaux de protocoles ont été proposés. Le niveau simplifié se destine aux conseillers agricoles (ou agriculteurs), et a pour objectif d'être appliqué très largement. Le niveau « élaboré » se destine aux expérimentateurs, il a pour objectifs de : (i) tester la fiabilité des informations obtenues dans le protocole simple, (ii) tester de nouvelles méthodes d'échantillonnage des auxiliaires, trop complexes pour être mises en place en protocole simplifié (l'aspiration par exemple). Le protocole élaboré se caractérise aussi par un nombre plus important de pièges mis en place et par la fréquence plus élevée des relevés. Le Tableau 3 détaille les observations réalisées en protocole simple.

Tableau 3 : Protocole "simplifié" d'observation des auxiliaires et ravageurs

	Printemps			Automne	
	Blé-Orge	Colza	Maïs	Blé-Orge	Colza
Limaces			4 pièges / parcelle 2-3 semaines avant semis à 5-6F 1 fois/semaine	4 pièges / parcelle 2-3 semaines avant semis jusqu'à stade de sensibilité 1 fois/semaine	4 pièges / parcelle 2-3 semaines avant semis jusqu'à B4 1 fois/semaine
Barber	4 pots / parcelle Avril-juin 1 semaine sur 2		4 pots/parcelle Levée à 5-6F 1 semaine sur 2	4 pots/parcelle Semis à stade de sensibilité 1 semaine sur 2	4 pots / parcelle Semis à B4 1 semaine sur 2
Cuvettes jaunes	1 cuvette par parcelle mi-avril à mi-juillet 1 semaine par mois			1 cuvette par parcelle Levée à tallage 1 semaine par mois	1 cuvette par parcelle Levée à B6 1 semaine par mois
Observations visuelles	10 x 10 pieds puis 10 x 10 épis Dernière feuille pointante à grain pâteux 1 observation/ semaine	Ligne de 20m : 4x5 pieds De reprise (C2) à G4 1 observation/ semaine	5x10 plants 2-3F à grain dur 1 observation /Semaine	1àx10 pieds puis 10x10 épis Levée à début tallage 1 observation/ semaine	4x5 pieds Levée à B6 1 observation/ semaine

Les insectes observés/capturés ont été identifiés et dénombrés, mais le niveau d'identification variait selon les protocoles :

- Protocole simplifié : identifications et dénombrements par famille et par classe de taille (carabes) et identification de quelques espèces (carabes),
- Protocole élaboré : identification à l'espèce avec l'appui d'entomologistes pour les pots Barber, cuvettes jaunes et aspirations.

2.1.3 Réseau de parcelles

La constitution du réseau de parcelles sur lesquelles ont été réalisées les observations était guidée par la volonté (i) d'obtenir un nombre suffisant d'observations pour sécuriser l'acquisition de références, (ii) d'éviter de biaiser les résultats par l'introduction de situations non représentatives de celles rencontrées réellement par les agriculteurs et (iii) la nécessité de pouvoir comparer les résultats entre années.

Afin d'obtenir une homogénéité des données acquises, différents critères de choix des parcelles ont été indiqués aux observateurs : 1) favoriser les 4 cultures prioritaires du projet, 2) choisir des parcelles avec des pressions élevées de pucerons et/ou de limaces, 3) inclure si possible des zones sans applications de molluscicides et d'insecticides, 4) parcelles suivies tout au long de l'année culturale.

Au total, les protocoles ont été mis en place sur 171 parcelles différentes tout au long du projet. La pression d'échantillonnage a été constante au cours du projet, entre 40 parcelles (automne 2018) et 53 parcelles (printemps 2019) ont été suivies chaque saison (excepté à l'automne 2019 où seules 6 parcelles ont été suivies afin de prioriser l'implémentation et la finalisation de la base de données plutôt que la réalisation de nouvelles observations). Les parcelles suivies étaient situées en majorité dans la moitié Nord de la France (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).



Figure 3 : Cartographie des parcelles sur lesquelles ont été mis en place les protocoles d'observation des auxiliaires et ravageurs

2.1.4 Résultat des campagnes d'observation en parcelle

Le volume de données collecté sur les pucerons (et leurs auxiliaires) est très important comparé aux observations des limaces (et de leurs auxiliaires, **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**4). Les 3 années de suivis ont en effet été très sèches, et donc très peu favorables au développement des limaces.

Tableau 4 : Organismes observés et nombres totaux d'individus observés ou capturés

Organismes	Nombre d'observations	Organismes	Nombre d'observations
Limaces	2 999	Pucerons	53 003
Carabes	31 228	Araignées	41 066
Staphylins	2 813	Opilions	8 959
		Syrphes	4 909
		Momies de pucerons	3 240
		Hyménoptères parasitoïdes	2 687
		Coccinelles	1 240
		Chrysopes	229

2.1.5 Conseils sur le choix des méthodes pour observer les pucerons et leurs auxiliaires

Au cours des sessions de suivi des parcelles au champ, plusieurs méthodes ont été appliquées et comparées. Selon le type d'organisme considéré, la méthode d'observation la plus fiable peut différer. Le Tableau 5 récapitule pour chaque type d'organisme, la méthode d'observation la plus pertinente, c'est-à-dire celle permettant d'aboutir au recensement de la plus grande abondance des organismes considérés.

Tableau 5 : Méthodes conseillées pour l'observation des limaces, pucerons et de leurs auxiliaires

Méthode	Organismes
Observations visuelles	Pucerons, Momies de pucerons, Araignées, Coccinelles, Chrysopes, Opilions
Aspirations	Pucerons, Hyménoptères parasitoïdes
Cuvettes jaunes	Pucerons ailés, Syrphes, Araignées, Opilions
Pots Barber	Carabes, Staphylins, Araignées, Opilions
Pièges à limaces	Limaces

2.2 Outils d'observation innovants des régulations naturelles

Pour acquérir des références sur le service de contrôle biologique des ravageurs, des méthodes spécifiques ont été mises en place, en plus des observations sur les auxiliaires et ravageurs décrites précédemment. Celles-ci ont été appliquées sur des nombres réduits de parcelles, du fait d'un coût plus élevé ou de plus grandes contraintes de mise en œuvre. L'objectif était de tester leur intérêt en termes de compléments d'informations apportés par rapport aux méthodes précédentes.

2.2.1 Cartes de prédation

L'utilisation de proies sentinelles exposées en parcelles agricoles constitue une solution pertinente pour détecter la consommation des proies par des prédateurs afin de quantifier ce service de régulation en conditions réelles sur le terrain. La méthode appliquée au cours du projet se base sur les travaux de Westermann *et al.* (2013) et de Meiss (2010). Ce protocole a été mis en place en 2017 et 2018, dans un dispositif d'étude de l'impact des cultures associées sur les services écosystémiques, sur les parcelles de la station expérimentale de INRAE à Mirecourt. Les cartes ont été installées dans 7 modalités de cultures (triticale pur, avoine pure, pois pur, féverole pure, mélange triticale/pois, mélange avoine/féverole et mélange des 4 espèces) avec 4 répétitions en blocs, à raison de 3 points de mesure pour chacune des 28 parcelles expérimentales.

Deux cartes de prédation ont été installées par point de mesure, une au sol et une en végétation. Du papier abrasif au grain de 120, résistant à l'eau, a été utilisé, car il s'agit d'un support inerte non lisse, qui n'attire ni ne repousse les auxiliaires.

Différentes proies sentinelles ont été collées sur ces cartes :

- Cartes au sol : œufs d'*Ephestia kuehniella* (teigne de la farine), Krill (nourriture pour poissons), graines de pensée (*Viola arvensis*) et graines de Vulpin (*Alopecurus myosuroides*)
- Cartes en végétation : œufs d'*Ephestia kuehniella*, Krill.

Un test a aussi été réalisé avec des pucerons vivants. Mais ce type d'expérimentation s'est avéré difficile à réaliser car les pucerons meurent très rapidement par dessiccation. Les taux de prédation au terrain étaient faibles, et il était aussi difficile de savoir si c'étaient des prédateurs de pucerons ou des nécrophages qui consommaient ce type de proies.

La Figure 4 montre un exemple de résultat obtenu grâce à cette expérimentation. Dans les parcelles comportant de la féverole (pure ou en mélange), le niveau de prédation des différentes proies était souvent plus fort que dans les autres cultures. Le type de la culture avait donc un effet plus fort que l'association culturale.

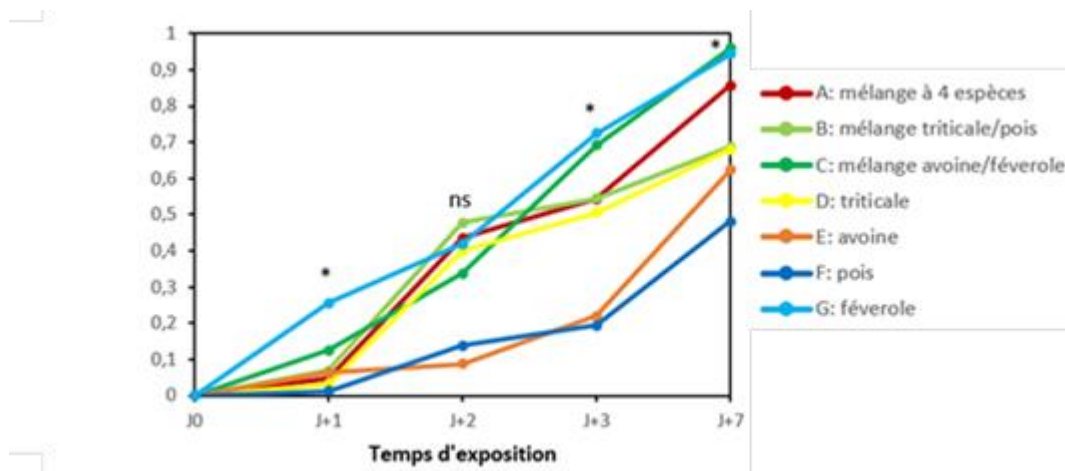


Figure 4 : Taux moyen de prédation (N=12) d'œufs de teigne de la farine sur des cartes de prédation exposées dans la végétation de 7 cultures ou mélanges de cultures selon le temps d'exposition des cartes (J0 = 12/06/2017)

2.2.2 Analyse moléculaire du contenu stomacal d'ennemis naturels

L'analyse moléculaire de contenu stomacal (notamment par diagnostic PCR multiplexe) est une méthode innovante permettant de déterminer le régime alimentaire d'ennemis naturels par détection d'ADN de proies spécifiques. Elle est particulièrement pertinente pour identifier les agents actifs de la régulation naturelle car elle fournit des preuves directes des interactions trophiques en milieu naturel.

Dans le cadre du projet ARENA, l'analyse moléculaire avait pour objectif d'estimer l'importance de 5 types de proies d'intérêt agricole dans le régime alimentaire des communautés de carabes : deux ravageurs, les pucerons et les limaces, un autre groupe d'ennemis naturels, les araignées et deux décomposeurs, les vers de terre et les collemboles. Un nouveau multiplexe d'amorces, de petites molécules se fixant sur l'ADN de proies de manière spécifique et permettant d'en amplifier un fragment (l'amplicon), a été développé spécifiquement pour cette étude afin d'amplifier l'ADN des 5 types de proies souhaitées. Des carabes ont ensuite été collectés dans une dizaine de champs de blé d'hiver, répartis dans 5 départements français, tout au long de la saison de culture afin de prendre en compte les variations régionales et temporelles de leur régime alimentaire. Au total, 1 916 carabes ont été capturés vivants avec des pièges Barber à sec et ensuite congelés à -20°C, jusqu'à ce que l'ADN présent dans leur tube digestif soit extrait puis identifié par le diagnostic PCR multiplexe.

La Figure 5 présente les taux de détection d'ADN de proies dans les communautés de carabes des fermes de Boigneville (91). Parmi les 305 carabes capturés, 2/3 d'entre eux étaient positifs à l'ADN d'au moins une des proies étudiées. Le pic de détection d'ADN de limace intervient en mai alors que celui des

puçerons est en juin, ce qui correspond à leur pic d'infestation. La prédation sur les araignées est observée majoritairement en mai tandis que les décomposeurs semblent être consommés tout au long de l'année (excepté en juin pour les vers de terre). Ces résultats, à l'image des observations dans les autres localités, confirment le rôle d'auxiliaire joué par les carabes en lien avec les limaces et les pucerons. Bien que la majorité des espèces de carabes étudiées participent à cette régulation, certaines espèces sont plus voraces que d'autres (*Poecilus cupreus* et *Harpalus affinis* pour les limaces, *Nebria salina* pour les pucerons) ou plus actives à certains moments de la saison (par exemple le genre *Nebria* en automne). D'autre part, ces résultats renseignent sur le caractère généraliste de leur régime alimentaire : les carabes changent la composition de leur régime alimentaire au cours des saisons et consomment parfois d'autres prédateurs (prédation intragilde). De façon intéressante, leur consommation de décomposeurs tels que les collemboles semble être une constante de leur régime alimentaire. Ces proies semblent donc cruciales pour le maintien de leurs populations en dehors des périodes d'infestation de ravageurs ou lorsque les autres proies ne sont pas disponibles.

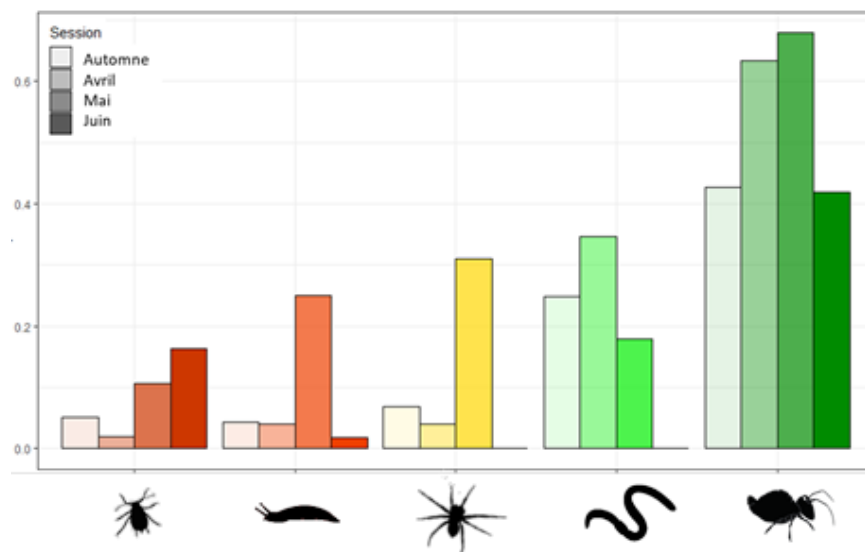


Figure 5 : Taux de détection de l'ADN de cinq proies d'intérêt agricole dans les contenus stomacaux des communautés de carabes capturées à différents moments de la saison dans des parcelles de blé d'hiver des fermes de Boigneville

3. Outil de prévision du potentiel de régulation naturelle

3.1 I-ARENA : Indicateur de la régulation naturelle des pucerons par des parasitoïdes et prédateurs des pucerons auxiliaires de culture

3.1.1 Objectif de l'outil

L'objectif d'I-Arena est de prédire les abondances de pucerons ainsi que les taux de parasitisme des pucerons. Les densités de certains groupes auxiliaires clés sont utilisées comme données d'entrée (et introduites dans l'outil), ainsi que des variables descriptives des parcelles, de leur gestion et du paysage, à savoir : type de bordures autour de la parcelle, total linéaire de chemins et bandes enherbées dans le paysage (rayon de 500 m), pourcentage de prairies et de bois dans le paysage.

L'utilisateur n'a pas besoin de connaître toutes les variables d'entrée avec précision car elles sont renseignées sous la forme d'un code binaire (au-dessus ou en dessous d'une valeur seuil indiquée). Les calculs des abondances de pucerons et de taux de parasitisme de ces derniers s'effectuent automatiquement (dans un tableur EXCEL) et les résultats sont fournis dans des feuilles spécifiques. L'intérêt de l'outil repose sur la comparaison entre différentes parcelles (réelles ou simulées), avec par exemple différentes options de gestion, différents paysages, différents cortèges d'auxiliaires présents.

3.1.2 Démarche méthodologique pour construire I-ARENA

La particularité de cet indicateur est d'avoir été élaboré à partir de modèles statistiques classiques (modèles linéaires) et de fouille de données (Arbres de Régression et Forêts aléatoires), appliqués à la base de données ARENA. Le pouvoir prédictif de tous ces modèles a été testé en comparant les sorties avec des données d'observation indépendantes (qui n'ont pas été utilisées lors de l'ajustement des modèles). La comparaison des différentes méthodes statistiques et la comparaison des sorties avec des données indépendantes a permis de gagner en robustesse.

3.1.3 Résultats des analyses et conseils pour l'usage de l'outil I-ARENA

Alors que les deux méthodes de fouille de données (arbres de régression et forêts aléatoires) ont pu produire des modèles capables de prédire des données indépendantes, cela n'était pas le cas pour les modèles linéaires (LM et GLM). Les forêts aléatoires ont permis de hiérarchiser l'ensemble des facteurs environnementaux quant à leurs effets sur les abondances de pucerons ou leur taux de parasitisme (Figure 6). Les arbres de régression, à la fois performants et plus facilement interprétables, ont pu être utilisés comme base pour l'outil de prédiction I-ARENA. Le taux de parasitisme des pucerons par les parasitoïdes et l'abondance des syrphes ressortent comme étant les principales variables pouvant prédire des abondances de pucerons pour les deux types de modèles (Forêts Aléatoires et Arbres de Régression, Figure 6). Les autres variables explicatives ayant une importance significative sont : (i) le linéaire total de bandes et chemins enherbés dans le paysage, (ii) le type de bordure de champs, et (iii) dans une moindre mesure, la taille de la parcelle.

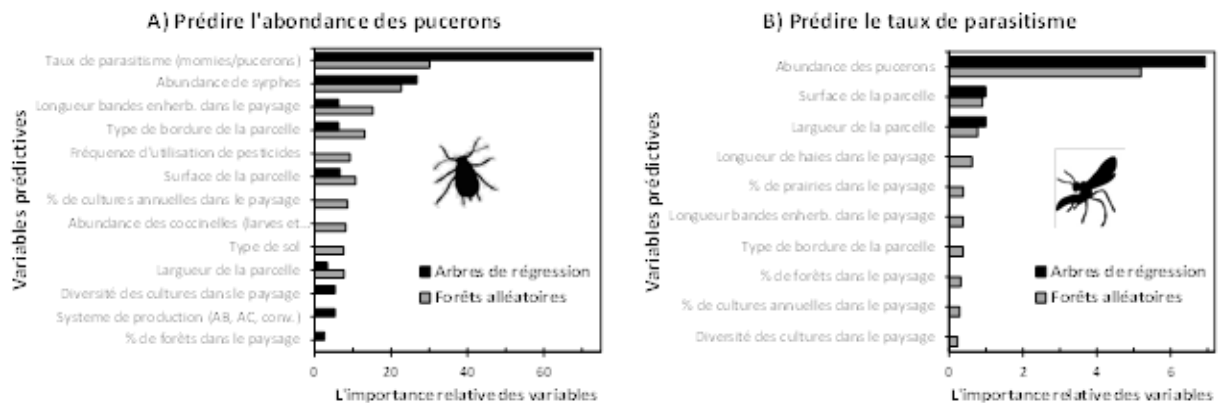


Figure 6 : Variables prédictives les plus importantes sélectionnées par les arbres de régression et forêts aléatoires pour A) prédire les abondances de pucerons (à gauche) et B) les taux de parasitisme des pucerons (à droite).

L'abondance des coccinelles, le nombre d'applications de pesticides, le système de culture et le type de sol n'ont été retenus que par les Forêts aléatoires (ii) alors que le pourcentage de bois et le pourcentage de cultures n'ont été retenus que par les arbres de régression. Les deux types de modèles s'accordent sur les facteurs explicatifs les plus importants et révèlent une incertitude plus importante sur les facteurs marginaux, ce qui permet de conclure à une bonne robustesse de ces modèles.

L'outil I-ARENA comporte un petit nombre de variables d'entrée, en raison d'une sélection de ces dernières par le processus d'analyse de données en amont. Cela en facilite l'usage, mais peut parfois aussi paraître « frustrant » pour les utilisateurs (d'après de premiers retours), car ils ne pourront pas rentrer tous les paramètres qu'ils jugent importants et qu'ils ont peut-être déjà mesurés chez eux. L'utilisation des variables dites « remplaçantes » (qui peuvent substituer les variables principales des arbres de régression) pourrait être envisagée comme une solution.

L'outil I-ARENA peut toutefois constituer un support intéressant pour le conseil stratégique grâce aux prédictions qu'il propose. Il permet de réaliser des simulations sur différentes parcelles appartenant à

différentes fermes et s'adapte donc bien au conseil de groupe. I-ARENA est plutôt un outil d'aide à la décision (OAD) « stratégique » permettant de faire ressortir les groupes d'auxiliaires, éléments du paysage et pratiques agricoles favorables à la régulation des pucerons. En revanche, il n'a pas vocation à être un outil (OAD) « tactique » permettant de prédire l'évolution temporelle d'une population de pucerons dans une situation donnée pour savoir s'il faut prendre des mesures curatives (traitement insecticide...) ou non.

3.2 DEXi-ARENA : arbre d'évaluation multicritères du potentiel d'accueil des auxiliaires volants prédateurs et parasitoïdes de pucerons de printemps

L'évaluation multicritère est destinée à décomposer un problème complexe en plusieurs sous questions plus aisées à résoudre. Dans le cadre du projet, nous avons réalisé un arbre de décision multicritère à partir du logiciel DEXi afin d'avoir une vision globale des facteurs agissant sur les auxiliaires aériens régulant les populations de pucerons des grandes cultures.

DEXi est un logiciel qui permet de concevoir des systèmes experts afin d'évaluer et d'analyser différents scénarios décrits à partir d'un ensemble de critères qualitatifs. Le modèle multicritère se présente en une structure hiérarchique qui décompose la question à traiter. Pour le fonctionnement de l'outil, il est nécessaire de renseigner tous les critères dans le modèle « critères de base ou feuilles de l'arbre » qui sont décrits par 3 ou 4 classes de « défavorable » à « très favorable ».

Ensuite, les « critères agrégés » sont également décrits par 3 à 4 classes. Leurs valeurs sont déterminées par des fonctions d'utilité qui donnent à chaque critère agrégé un poids à partir des critères de base associés. Pour réaliser l'agrégation, une table de contingence est renseignée.

Dans un premier temps, nous avons inventorié des données expérimentales et bibliographiques sur les relations entre les pucerons des grandes cultures et leurs auxiliaires (hyménoptères parasitoïdes, syrphes, chrysopes et coccinelles) et sur l'effet sur ces populations du système de culture et de l'environnement proche de la parcelle.

L'exportation des données de différentes parcelles du projet est ensuite réalisée avec un script R pour qu'elles soient importées dans DEXi. Une évaluation du « potentiel d'accueil » des auxiliaires pour chaque parcelle sur l'ensemble des critères renseignés et agrégés, est ainsi obtenue. L'étape suivante du projet a consisté à vérifier la représentativité de l'outil DEXi ARENA par la comparaison des données issues de DEXi avec les observations de terrain. La Figure 7 ci-dessous présente les différentes données qui ont servi à cette étude.

Les résultats issus de cet outil ont pu être comparés avec des données de l'observation de 132 parcelles où les protocoles d'observations ARENA ont été mis en œuvre et où de nombreux pucerons et auxiliaires des grandes cultures ont pu être recensés.

Les notations des parcelles fournies par l'arbre DEXi ont été comparées aux données de terrain récoltées au cours du projet. Pour cela des cartes de corrélations ont été construites à l'aide du logiciel XLSTAT afin d'évaluer l'existence de liens entre les notes attribuées par l'arbre DEXi et différentes variables issues des observations. Elles ont montré que les effectifs de populations de pucerons et d'auxiliaires variaient très souvent dans le même sens.

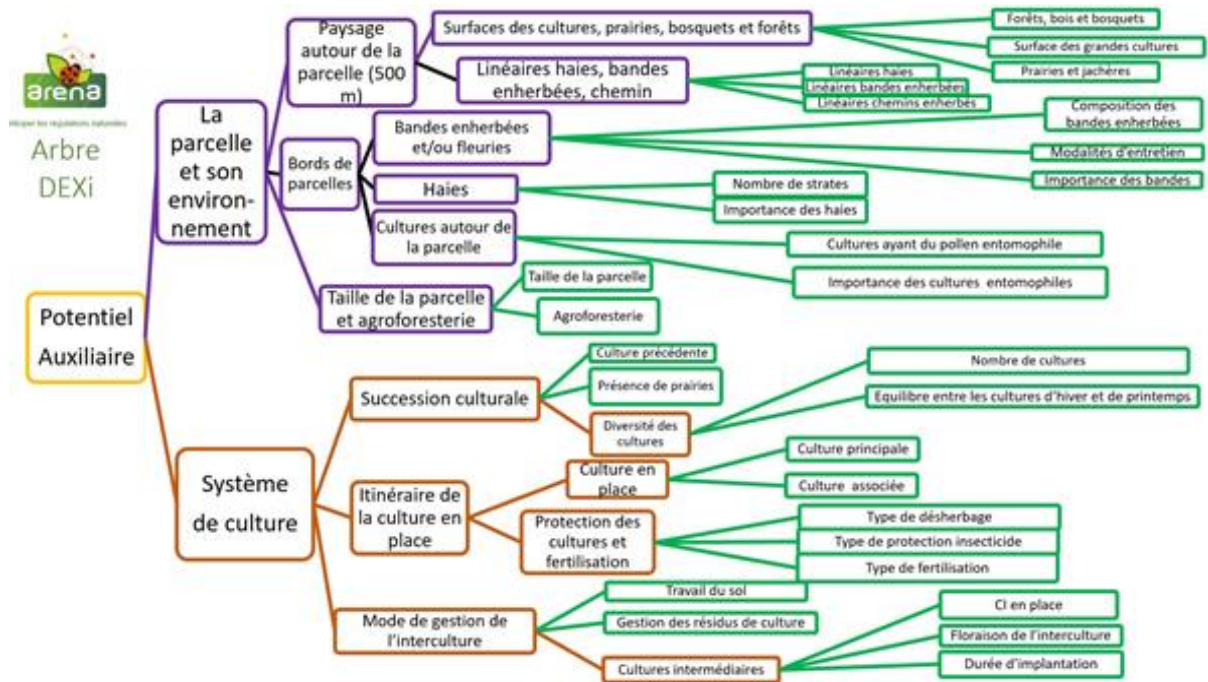


Figure 7 : Structure de l'arbre DEXi ARENA concernant les auxiliaires des pucerons des grandes cultures. En vert critères de base ou « feuilles », autres couleurs : critères agrégés

A partir des données issues des observations visuelles obtenues dans le cadre du projet, les pucerons sont plus particulièrement corrélés aux notes DEXi, mais de manière négative. Cela montre bien que les aménagements et les systèmes de culture proposés dans DEXi comme favorables aux agriculteurs sont globalement négatifs pour les populations de pucerons. Par contre, les notes « favorables » pour DEXi sont aussi corrélées négativement avec la majorité des auxiliaires. Ce dernier point indique clairement que leur population est explicitement liée à celle des pucerons. Ce qui justifie bien que les auxiliaires, surtout ceux spécifiques des pucerons, sont attirés par leurs proies et leur population augmente avec celle-ci.

A partir de ces données, le niveau auquel se déroulaient les phénomènes de régulation biologique n'a pas pu être identifié. Les analyses statistiques et notamment les régressions de type Lasso mettent aussi en valeur les critères ayant une plus grande influence sur les dynamiques des populations étudiées et devraient permettre, à terme, d'améliorer les pondérations de l'outil DEXi ARENA.

Malgré ces questions liées à l'interprétation des données, cette approche garde tout son intérêt et conserve l'avantage de donner une vision d'ensemble des facteurs pouvant avoir un effet sur la dynamique des populations de ces ravageurs et auxiliaires.

Conclusion

Le projet ARENA a permis le développement de protocoles d'observation des ravageurs et de leurs auxiliaires ainsi que des régulations naturelles. Des outils de prévision du potentiel de contrôle biologique des pucerons ont également été construits puis validés après une phase de confrontation avec des données acquises en parcelles agricoles et expérimentales. Ces ressources ont été co-construites avec les publics cibles : principalement les conseillers agricoles mais aussi les agriculteurs ; après une étape de recensement de leurs attentes via des enquêtes. La production des outils a abouti au développement de connaissances : le rôle des hyménoptères parasitoïdes et des syrphes dans la régulation des pucerons a été confirmé, ainsi que le rôle prépondérant du parcellaire et du paysage. L'étude du régime alimentaire des carabes a montré leur intérêt en tant qu'auxiliaires généralistes capables de se nourrir de pucerons

et de limaces, et aussi très certainement d'autres bio-agresseurs. Les apports du projet pourront être remobilisés directement par la profession agricole et au travers de futurs travaux de recherche.

Références bibliographiques

- Arvalis Institut du Végétal, 2016. Les fiches accidents céréales à paille – Puceron de l'épi. [En ligne]. Disponible sur : http://www.fiches.arvalis-infos.fr/fiche_accident/fiches_accidents.php?mode=fa&type_cul=1&type_acc=3&id_acc=37.
- Bousquet N., 2015. Expérimentation – Les solutions contre la jaunisse nanisante de l'orge mises à l'épreuve. [En ligne]. Disponible sur : <http://www.arvalis-infos.fr/la-jaunisse-nanisante-de-l-orge-au-c-ur-d-un-dispositif-specifique-@/view-19883-arvarticle.html>.
- Chabert A., Gandrey J., 2005. Impact of some insecticides on carabidae and consequences for slug populations. *IOBC/wprs Bulletin* Vol.28 (6). Working Group "Insect pathogens and entomoparasitic nematods.
- Chaplin-Kramer R., O'Rourke M.E., Blitzer E.J., Kremen C., 2011. A meta-analysis of crop pest and natural enemy response to landscape complexity. *Ecology letters*, 14, 922-932.
- Holland J.M., Oaten Southway S., Moreby S., 2008. The effectiveness of field margin enhancement for cereal aphid control by different natural enemy guilds. *Biological Control*, 47 (1), 71-76.
- Le Roux X., Barbault R., Baudry J., Burel F., Doussan I., Garnier E., Herzog F., Lavorel S., Lifran R., Roger-Estrade J., Sarthou J.P., Trommetter M., 2008. Agriculture et biodiversité, valoriser les synergies. Expertise scientifique collective.
- Malézieux E., Ozier-Lafontaine H., 2013. Agro-écologie : quels principes dans les agro-écosystèmes tropicaux ? In Quelles recherches en agro-écologie ? In : Les rencontres de l'INRA, Salon International de l'Agriculture, 25 février 2013, Paris, France. Communication orale.
- Marrec R., Badenhauer I., Bretagnolle V., Borger L., Roncoroni M., Guillon N., Gauffre B., 2015. Crop succession and habitat preferences drive the distribution and abundance of carabid beetles in an agricultural landscape. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 199, 282-289.
- Potier D., 2014. Pesticides et agro-écologie, les champs du possible. Rapport au Premier Ministre Manuel Valls. 201 p. + annexes.
- Puech C., Baudry J., Joannon A., Poggi S., Aviron S., 2014. Organic vs. conventional farming dichotomy: Does it make sense for natural enemies? *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 194, 48-57.

Cet article est publié sous la licence Creative Commons (CC BY-NC-ND 3.0)



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/fr/>

Pour la citation et la reproduction de cet article, mentionner obligatoirement le titre de l'article, le nom de tous les auteurs, la mention de sa publication dans la revue « Innovations Agronomiques », la date de sa publication, et son URL)