



HAL
open science

Développements méthodologiques pour une CAractérisation SIMplifiée des pressIons biotiques et des Régulations biologiques - CASIMIR

Vincent Cellier, Jean-Noël Aubertot, Stéphane Cordeau, Laurence Fontaine,
Morgane Froger, Antoine Gardarin, Jean-Philippe Guillemain, Claire Lavigne,
Sandrine Petit, Rodriguez Alain, et al.

► To cite this version:

Vincent Cellier, Jean-Noël Aubertot, Stéphane Cordeau, Laurence Fontaine, Morgane Froger, et al.. Développements méthodologiques pour une CAractérisation SIMplifiée des pressIons biotiques et des Régulations biologiques - CASIMIR. Innovations Agronomiques, 2017, 59, pp.41-54. 10.15454/1.5137850846009827E12 . hal-01652930

HAL Id: hal-01652930

<https://hal.science/hal-01652930>

Submitted on 30 Nov 2017

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

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



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0
International License

Développements méthodologiques pour une CARactérisation SIMplifiée des pressions biotiques et des Régulations biologiques - CASIMIR

Cellier V.¹, Aubertot JN.², Cordeau S.³, Fontaine L.⁴, Froger M.¹, Gardarin A.⁵, Guillemain JP.⁶, Lavigne C.⁷, Petit S.³, Rodriguez A.⁸, Sarthou JP.², Valantin-Morison M.⁵

¹ Réseau PIC, INRA - Unité Expérimentale du domaine d'Epoisses, F-21110 Bretenière

² INRA, UMR 1248 AGIR, chemin de Borde-Rouge, BP52627, F-31326 Castanet-Tolosan Cedex

³ INRA, UMR 1347 Agroécologie, 17 rue de Sully, BP 86510, F-21065 Dijon Cedex

⁴ ITAB Délégation d'Angers, 9 rue André Brouard, CS 70510, F-49105 Angers Cedex 02

⁵ UMR Agronomie, INRA AgroParisTech, BP 01, F-78850 Thiverval-Grignon

⁶ AgroSup Dijon, UMR 1347 Agroécologie, 26 bd Dr Petitjean, BP 87999, F-21079 Dijon

⁷ INRA, unité PSH, Domaine Saint-Paul, Site Agroparc, CS 40509, F-84914 Avignon Cedex 9

⁸ ACTA, 6 chemin de la côte vieille, F-31450 Baziège

Correspondance : vincent.cellier@inra.fr

Résumé

L'objectif du projet CASIMIR est de proposer des protocoles de caractérisation de l'évolution des bioagresseurs, de leurs dégâts et de l'intensité de la régulation biologique dans les parcelles agricoles afin d'évaluer l'effet des systèmes de culture. En collaboration avec le réseau DEPHY, le projet CASIMIR propose des protocoles simplifiés de suivi des adventices, maladies et ravageurs dans plusieurs filières agricoles ainsi qu'un outil d'aide à la conception de stratégies d'échantillonnage et un prototype de guide permettant de réaliser un diagnostic agronomique des pressions biotiques grâce à des modes opératoires simples et rapides à mettre en œuvre. Le projet avait aussi pour objectif, d'étudier la mise en place et l'intensité des régulations biologiques dans des systèmes de grandes cultures avec peu ou pas de pesticides. De nouvelles méthodes de piégeage et d'échantillonnage ont été testées sur les sites RésOPest afin de faire le lien entre biodiversité fonctionnelle et intensité des régulations biologiques.

Mots-clés : Bioagresseurs, Auxiliaires, Phytopathométrie, Protocoles, Inventaire, Régulation biologique, DEPHY.

Abstract: Methodological developments for a simplified characterisation of biotic pressures and biological regulations

The objective of the CASIMIR project is to propose protocols to characterise the evolution of pests, their damage and the intensity of biological regulation in agricultural plots in order to evaluate the effect of cropping systems. In collaboration with the DEPHY network, the CASIMIR project proposes simplified protocols for monitoring weeds, diseases and pests in several agricultural sectors, as well as a tool to help design sampling strategies and a prototype guideline to realise an agronomic diagnosis of biotic pressures by simple and rapid procedures to be implemented. The project also aimed to study the establishment and intensity of biological regulations in field crop systems with little or no pesticides. New methods of trapping and sampling have been tested on RésOPest sites in order to link functional biodiversity to the intensity of biological regulation.

Keywords: Pests, Beneficials, Phytopathometric, Protocols, Inventory, Biological regulation, DEPHY network

Introduction

Le projet CASIMIR¹ avait pour objectif de sélectionner ou co-concevoir avec les futurs utilisateurs, des protocoles de caractérisation de l'évolution des bioagresseurs, de leurs dégâts et de l'intensité de la régulation biologique dans les parcelles agricoles. Il visait à développer des méthodes simples, faciles et rapides à mettre en œuvre pour évaluer l'effet à court-terme (échelle annuelle) et à long-terme (succession) des systèmes de culture.

POUR le plan ECOPHYTO, le projet avait pour vocation à répondre aux besoins des réseaux DEPHY FERME et EXPE qui souhaitent (i) sensibiliser les agriculteurs à l'observation des pressions et régulations biologiques pour objectiver leur maîtrise, (ii) expliciter les relations entre pressions et traitements, analyser la variabilité au sein du réseau et les liens avec les évolutions d'IFT, (iii) juger des conséquences agronomiques et sanitaires des systèmes de culture DEPHY FERME et EXPE et (iv) définir leur domaine de validité.

SUR le plan ECOPHYTO, le projet avait pour objectif de permettre (i) d'avancer sur la compréhension des mécanismes de régulation biologique, leur mise en place et leur intensité dans les systèmes de grande culture avec peu ou pas de pesticides, sur les parcelles du réseau expérimental de systèmes de culture sans pesticides Rés0Pest² et (ii) de proposer des mesures indicatrices de services écosystémiques de régulations biologiques et de faire le lien entre biodiversité fonctionnelle et intensité des régulations biologiques.

Les partenaires du projet CASIMIR : Le projet CASIMIR a regroupé dix partenaires, issus de la recherche-développement : l'UE du Domaine d'Epoisses (Bretenière), qui a coordonné le projet, les UMR Agronomie, AGIR, IGEPP et Agroécologie, l'UR PSH, l'ITAB, l'ACTA, la cellule d'Animation Nationale DEPHY et enfin l'UE Rés0Pest et l'EPLEFPA d'Auzeville. En sus des partenaires, de nombreux experts extérieurs au projet CASIMIR ont été sollicités pour leur expertise et ont été impliqués dans les processus de conception des protocoles.

Le travail des partenaires s'est organisé autour de deux groupes de travail (i) bioagresseurs (hors adventices), ennemis naturels et régulations biologiques, piloté par Muriel Valantin-Morison et Jean-Pierre Sarthou et (ii) adventices, piloté par Stéphane Cordeau et Laurence Fontaine.

1. Inventaire critique et orienté des protocoles existants

L'objectif de l'inventaire des protocoles réalisé en début de projet était de valoriser l'existant en termes de protocoles afin de pouvoir les réutiliser ou s'en inspirer pour la conception de protocoles simplifiés de caractérisation des dégâts, des populations de bioagresseurs, des populations d'ennemis naturels et des régulations biologiques. Afin de valoriser ce travail, le projet CASIMIR met en ligne cet inventaire (non-exhaustif) des protocoles sur la plateforme QuantiPest³ pour permettre à des utilisateurs de rechercher des protocoles de caractérisation des dégâts, des populations de ravageurs et d'ennemis naturels. Plus de 650 protocoles ont été inventoriés dans les filières grandes cultures, arboriculture fruitière, viticulture, productions légumières, horticulture et pour le suivi des adventices. On peut souligner le faible nombre de protocoles disponibles permettant d'évaluer le potentiel de régulation biologique.

Les protocoles référencés proviennent de l'INRA, de la plate-forme QuantiPest, du réseau Rés0pest, du GEVES, de Terres Inovia, de l'ITAB (boîte à outils du Réseau RotAB) et de l'épidémiologie (SBT

¹ <http://www.inra.fr/reseau-pic/Projets/Projet-CASIMIR>

² <http://www.inra.fr/reseau-pic/Projets/Res0Pest>

³ http://www.inra.fr/quantipest_fre/Quantification-des-bioagresseurs-et-de-leurs-degats/CASIMIR-Inventaire-des-protocoles

et Bulletin de Santé du Végétal (BSV)). L'inventaire des protocoles, qui se présente sous la forme d'un tableau, permet aux utilisateurs de rechercher les protocoles en fonction de certains critères.

2. Conception de protocoles pour le suivi des adventices

A l'heure où les agriculteurs s'engagent à mettre en place des pratiques agricoles alternatives et des systèmes de culture économes en produits phytosanitaires, le projet CASIMIR propose des protocoles permettant de réaliser des suivis pluriannuels de la flore adventice dans les parcelles agricoles (approche à l'échelle du système de culture). L'objectif est de détecter et d'évaluer les modifications de la flore adventice suite à ces changements de pratiques. Les besoins n'étant pas les mêmes selon les filières de production, le groupe de travail a sollicité des experts de chaque filière afin de mieux saisir la problématique désherbage et de définir leurs besoins en matière de suivi des adventices.

Le groupe « adventices » propose des protocoles simplifiés de suivi des adventices adaptés à chaque filière et, co-construits et testés par les utilisateurs potentiels. Ils se veulent reproductibles, faciles à appliquer, rapides à mettre en œuvre et reposant sur le principe d'évaluation visuelle de la densité avec l'utilisation d'une échelle en classes modifiée pour les besoins du réseau DEPHY.

2.1 Choix des périodes d'observation

Pour chacun des protocoles proposés, les périodes d'observation ont été choisies selon la phénologie des espèces adventices et/ou les périodes d'intervention agricoles. De plus, le test des protocoles *in situ* a permis de s'assurer que ces périodes ne coïncident pas avec les pics d'activité pour les observateurs.

2.2 Définition de l'échelle de notation de la densité d'adventices

Les protocoles proposés par le projet CASIMIR reposent sur le principe d'évaluation visuelle *via* l'utilisation d'une échelle de type « Barralis » (classes de densité). Celle-ci a été modifiée (Tableau 1) pour répondre au mieux aux besoins et à l'évaluation de systèmes de culture en transition.

Tableau 1 : Echelle de Barralis modifiée

Classes	plantes/m ²
1	0,1 < D ≤ 1 pl/m ²
2	1 < D ≤ 3 pl/m ²
3	3 < D ≤ 10 pl/m ²
4	10 < D ≤ 20 pl/m ²
5	20 < D ≤ 50 pl/m ²
6	50 < D ≤ 250 pl/m ²
7	250 pl/m ² < D

La méthodologie employée se base sur la recherche de simplicité d'utilisation tout en préservant le recueil d'une information suffisamment précise afin d'évaluer l'évolution des communautés adventices et la pression qu'elles exercent. Ainsi, le nombre de classes de l'échelle de notation « Barralis » est réduit. Par ailleurs, suite à des discussions avec des experts (Delphine Mézière (INRA), Guillaume Fried (ANSES) et des agents de l'ONF), le groupe de travail a constaté que l'une des classes de l'échelle initiale de « Barralis » (i.e. 3-20 plantes/m²), regroupait plus de 50% des espèces adventices observées lors des relevés ce qui ne discriminait pas assez les espèces. La classe

concernée a donc été scindée en deux (3-10 et 10-20 plante/m²). La classe « + » de l'échelle initiale de « Barralis » initiale a été supprimée car l'information obtenue n'était pas pertinente dans le cadre de relevés à l'échelle de la parcelle qui se veulent faciles et rapides à mettre en place. Enfin, bien qu'une notation entre 50 et 250 plantes/m² puisse déjà être le signe d'un problème de gestion des adventices, la classe « D>250 » a été conservée, car la transition vers des systèmes innovants peut produire ponctuellement des abondances beaucoup plus élevées qu'il faut enregistrer.

2.3 Conception des protocoles pour la filière grandes-cultures

Le suivi des adventices en parcelles de grandes-culture est courant, notamment pour juger l'efficacité des pratiques culturales de gestion des adventices par exemple. Afin de caractériser la pression des communautés adventices dans les parcelles agricoles du réseau DEPHY, entre autres, le groupe de travail « adventices » du projet CASIMIR, avec la collaboration d'experts de la profession et des utilisateurs potentiels, propose deux protocoles à destination de la filière grande culture pour évaluer, à court-terme, l'effet des pratiques agricoles (à l'échelle de l'itinéraire technique) et leurs performances en matière de gestion des communautés adventices, ainsi que d'évaluer à long terme l'effet du système de culture sur l'évolution des communautés adventices. Lors de la conception des protocoles le groupe d'experts « adventices » du projet CASIMIR a pu bénéficier du travail préalable réalisé dans le cadre du RMT Florad, du projet PIC adventices, du réseau expérimental Rés0Pest et du Réseau RotAB.

Le protocole simplifié (à destination de DEPHY FERME) consiste à effectuer une évaluation visuelle des communautés d'adventices sur une station de 2 000 m², fixe d'une année sur l'autre (Figure 1). Le protocole plus exhaustif (à destination de DEPHY EXPE) consiste à effectuer des évaluations visuelles sur huit stations de 16m², ainsi qu'un comptage sur quadrat positionné à l'intérieur de chacune des stations. De plus, à floraison de la culture, les biomasses des adventices et de la culture sont prélevées pour quantifier la compétition qu'exercent les adventices sur la culture, car la densité (bon indicateur de l'efficacité de gestion) n'est pas le meilleur indicateur de la nuisibilité.

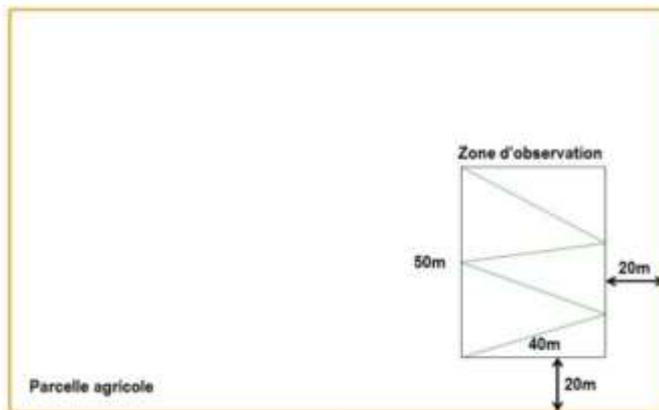


Figure 1 : Dispositif du suivi simplifié des adventices sur une zone d'observation.

Pour chaque protocole, après avoir identifié les espèces adventices, dans la zone ou la station, lorsque l'observateur réalise l'évaluation visuelle des adventices, il note la densité avec l'échelle « Barralis » modifiée (Tableau 1 ci-dessus) et renseigne le stade phénologique dominant de chaque espèce.

2.4 Conception des protocoles pour la filière viticole

La gestion des adventices est un des enjeux de la filière et peu d'outils sont disponibles. Après avoir réalisé une recherche bibliographique sur la gestion des adventices en viticulture, une première réunion de travail entre le groupe d'experts adventices de CASIMIR, Jacques Grosman (DGAL Rhône-Alpes) et la chambre d'agriculture de la Gironde (Lorelei Cazenave, doctorante encadrée par Stéphane Cordeau, INRA, Agroécologie), Maxime Christen (CA33) et Didier Allard (BIOGECO à Bordeaux)) a permis de poser les bases d'un travail d'harmonisation et de tests de protocoles de suivi des adventices.

Ainsi, le projet CASIMIR propose deux protocoles : (i) un protocole simplifié (Figure 2) peu chronophage et facile à mettre en place, s'appuyant sur le travail réalisé par la chambre d'agriculture de la Gironde et (ii) un protocole plus complexe (Figure 3) basé sur le protocole biovigilance flore proposé par Guillaume Fried (ANSES), avec des observations sur quadrats.

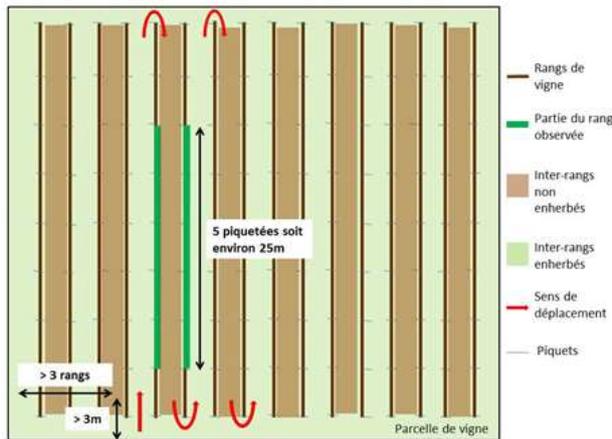


Figure 2 : Dispositif simplifié d'observation sur une parcelle agricole

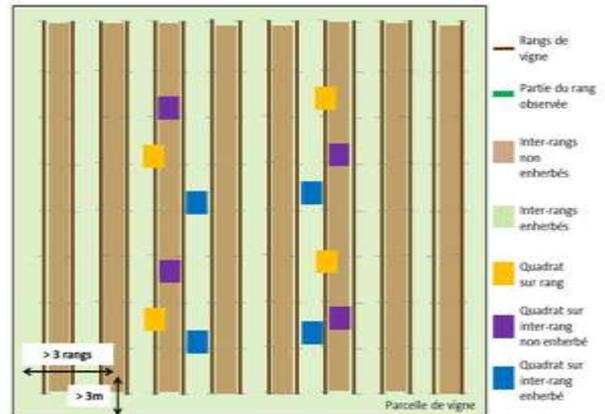


Figure 3 : Dispositif d'observation sur une parcelle expérimentale

Ces protocoles visent à évaluer, à court terme, l'effet des pratiques agricoles (à l'échelle de l'itinéraire technique) et leurs performances en matière de gestion des communautés adventices, ainsi que d'évaluer à long terme l'effet du système de culture sur l'évolution des communautés adventices. Pour capter une plus grande diversité de la flore adventice, il vaut mieux inventorier la flore sur de nombreux couples rang/inter-rang répartis sur l'ensemble de la largeur, que de multiplier les allers-retours pour inventorier la flore sur des centaines de mètres dans un nombre réduit d'inter-rang. Ce protocole permet de prendre en compte l'hétérogénéité de gestion des inter-rangs (sol travaillé, enherbé, enherbé 1 rang sur 2).

2.5 Conception des protocoles pour la filière arboricole

Alain Garcin (expert filière arboriculture de la cellule d'animation nationale du réseau DEPHY) a exprimé le besoin de suivre la gestion des populations d'adventices sur les rangs durant les 3-4 premières années d'implantation du verger, période pendant laquelle la majeure partie de l'IFT herbicide est imputée à la lutte contre les adventices sur le rang pour limiter la compétition avec les jeunes arbres fruitiers. Le protocole proposé par le projet CASIMIR (Figure 4) s'appuie sur le protocole simplifié déjà conçu pour la viticulture en l'adaptant aux besoins de l'arboriculture. Il a été expertisé par Muriel Millan (Ctifl) et Claude-Eric Parveaud (ITAB et GRAB)

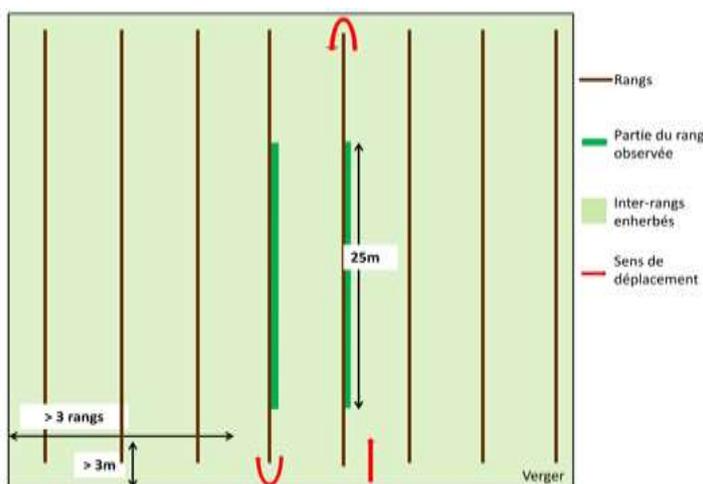


Figure 4 : Dispositif d'observation dans un verger.

L'observation des inter-rangs n'a pas d'intérêt car la gestion des adventices est beaucoup moins problématique que sur le rang. De plus on note le pourcentage de recouvrement plutôt que la densité (Tableau 2) car il semble plus difficile aux notateurs de noter visuellement une densité, notamment quand la flore est dominée par des espèces vivaces.

Tableau 2 : Echelle de notation du recouvrement

Classe	Recouvrement (%)
1	< 5%
2	5 à 25%
3	25 à 50%
4	50 à 75%
5	> 75%

2.6 Conception des protocoles pour la filière cultures légumières

D'après Cathy Eckert (expert filière légumière de la cellule d'animation nationale du réseau DEPHY), Mathieu Conseil (ITAB), Maxime Davy (Ctifl), Christian Porteneuve (Ctifl) et Vianney Estorgues (CA 29) qui ont été consultés, la gestion des adventices est un enjeu primordial pour la réussite des cultures légumières mais peu de protocoles de suivi des adventices tiennent compte des contraintes de cette filière (diversité des cultures et des types de productions (plein champ, maraichage, industrie,...), de l'assolement, des saisons culturales et de la complexité de la rotation). Le protocole proposé par le projet CASIMIR (Figure 5) a pour objectif non pas d'évaluer l'effet du système de culture, mais d'évaluer l'impact des pratiques agricoles (à l'échelle de l'itinéraire technique) et leurs performances en matière de gestion des communautés adventices ainsi que le potentiel de nuisibilité de la flore adventice sur la culture en cours et les risques de nuisibilité pour la culture à venir. Les ingénieurs réseau DEPHY Thibault Cadez (Sileban 50), Emilie Leray (CA 45), Sophie Brouard (CA 62), Marie Girault (CA 17) ont participé à la conception de ce protocole.

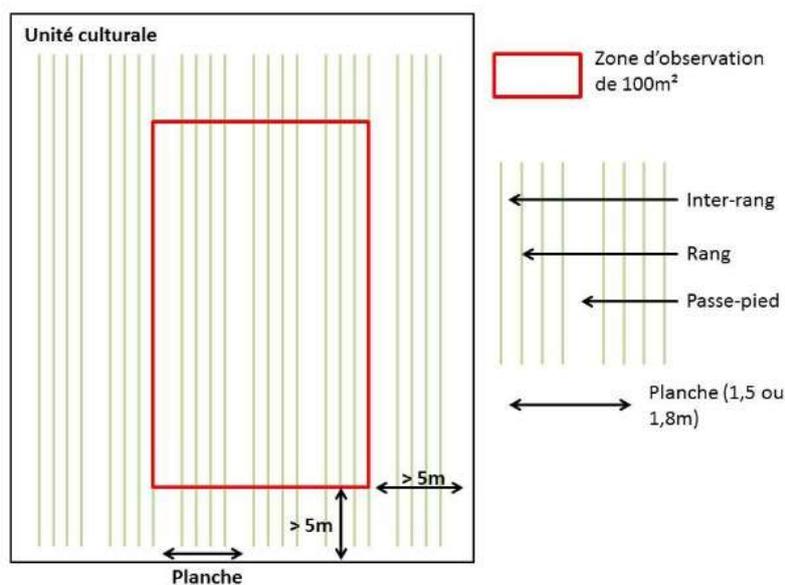


Figure 5 : Dispositif d'observation en cultures légumières.

2.7 Mise à disposition de protocoles, fiches pédagogiques et didacticiels

Pour aider les utilisateurs à mettre en place les méthodes simplifiées de suivi des adventices en grandes cultures (observation sur 2000m² ou observation sur des stations de 16m²), le projet CASIMIR propose des fiches pédagogiques en version papier et web.

Un des principaux besoins mentionnés par les utilisateurs des protocoles étant la reconnaissance des adventices, en particulier au stade plantule, le projet CASIMIR propose deux didacticiels d'autoformation à la reconnaissance des adventices qui s'appuient sur une photothèque de l'INRA dont les images ont été fournies par Gilles Louviot, Luc Biju-Duval et Bruno Chauvel (UMR Agroécologie - INRA Dijon). La plupart des espèces référencées sont communes et couramment observées dans les paysages agricoles. Les utilisateurs peuvent s'entraîner à reconnaître les adventices aux différents stades phénologiques ou seulement au stade cotylédon/plantule (Figure 6).



Figure 6 : Exemple de question du didacticiel de reconnaissance des adventices au stade plantule.

Les documents et les didacticiels sont également disponibles sur le site Quantipest : http://www.inra.fr/quantipest_fre/

3. Conception d'un guide d'aide au diagnostic des pressions biotiques

Afin, d'assurer une certaine complémentarité avec les protocoles de l'épidémiosurveillance utilisés par les acteurs de DEPHY et parce que l'objectif de ce suivi est un diagnostic *a posteriori* des facteurs limitants biotiques majeurs, le projet CASIMIR a travaillé sur la proposition d'un guide d'observation rapide et simplifié pour l'évaluation des pressions biotiques. L'objectif de cet outil est d'accompagner les observateurs dans leurs démarches de notation des dégâts/symptômes ou de la présence des bioagresseurs (autres qu'adventices), ainsi que des régulations biologiques, en leur permettant de réaliser des observations à différents niveaux de complexité. Deux prototypes de guide ont été mis au point pour les cultures de blé et colza en (i) sélectionnant les bioagresseurs les plus fréquents, les plus abondants ou ceux dont l'évolution des populations est à craindre dans les prochaines années, (ii) définissant un mode opératoire et des échelles de notation en s'appuyant sur le type de dégâts/symptômes ou de bioagresseurs ainsi que sur les protocoles existants de l'épidémiosurveillance (BSV, SBT...) et en (iii) déterminant 2-3 stades clefs d'observation en fonction des stades sensibles de la culture et du cycle biologique des bioagresseurs ciblés.

Une échelle de notation de l'incidence, compatible avec celle utilisée dans le cadre de l'élaboration des bulletins de santé du végétal, a été mise au point (Tableau 3).

Tableau 3 : Echelle de notation de l'incidence des bioagresseurs.

Echelle de notation CASIMIR (incidence en % de plantes touchées)
A : 0
B : <1 %
C : 1-10 %
D : 10-20 %
E : 20-50 %
F : > 50%

Elle est complétée par une notation de la répartition des attaques qui précise si elle est (i) homogène, (ii) hétérogène par gradient ou (iii) hétérogène par tâches. Chaque guide comporte un document de présentation du mode opératoire (la zone d'observation, le déplacement dans la parcelle, les différentes observations possibles, les périodes d'observations, l'échelle de notation...) et des fiches de terrain spécifiques à chaque culture. Sur ces fiches, les dégâts à observer et les bioagresseurs potentiels pouvant être incriminés sont listés. A deux stades clefs de la culture suivie, des observations peuvent être réalisées avec différents niveaux d'approfondissement : l'observation « *a minima* », l'observation détaillée et les observations optionnelles. Si l'observateur détecte d'autres dégâts/symptômes dominants sur la culture, il peut les renseigner sur la fiche de notation dans un troisième tableau (« Remarque ») et indiquer les bioagresseurs incriminés s'il a pu les identifier. Enfin, un espace est consacré à l'observation des auxiliaires.

Les deux prototypes de guides pour le colza et le blé sont disponibles sur le site Quantipest.

4. Test de méthodes de suivi de bioagresseurs et d'auxiliaires

Des méthodes de suivi des bioagresseurs et des auxiliaires ont été testées dans le cadre du projet CASIMIR afin de les comparer entre-elles en termes de précision et de faisabilité de la mesure, afin de faire quelques prescriptions quant à leur utilisation. Ce travail s'est focalisé sur les insectes des céréales et du colza.

4.1 Cas des pucerons des céréales, des méligèthes et auxiliaires volants

L'observation visuelle qui est une méthode de suivi des bioagresseurs et des ennemis naturels couramment utilisée a été comparée avec une méthode basée sur l'aspiration (Figure 7) et déjà expérimentée dans le cadre du programme de recherche européen BioBio.



Figure 7 : Mise en œuvre de l'aspiration des méligèthes. © M. Froger (INRA Dijon).

Cette dernière méthode consiste à aspirer les pucerons et les ennemis naturels sur un mètre linéaire de plantes puis à les dénombrer. Les essais réalisés montrent que cette méthode est plus efficace pour répertorier les pucerons (surtout lorsqu'ils sont présents en faible abondance), les méligèthes et les auxiliaires mais elle nécessite plus de matériel que le comptage visuel au champ. Les modalités de prélèvement doivent cependant être clairement définies afin de standardiser les opérations et de limiter la variabilité des résultats liée à l'expérimentateur ou bien à des variations de densité du peuplement cultivé. La

méthode par aspiration n'est pas moins chronophage que l'observation visuelle puisque le temps de comptage est reporté du champ au laboratoire, mais elle permet de réaliser la détermination des insectes capturés en décalé au laboratoire.

4.2 Cas des arthropodes épigés

La plupart des travaux méthodologiques existants relatifs au piégeage de la faune épigée (dont les carabes, araignées etc.) ont été réalisés dans des écosystèmes naturels ou semi-naturels, comprenant une forte abondance et une forte diversité d'organismes. Le travail réalisé dans CASIMIR visait à comparer des protocoles en parcelle agricole et à les adapter pour les rendre plus simples à mettre en œuvre.

Différentes méthodes de piégeage de carabes ont été testées et comparées. Les variables impliquées étaient : la taille des pots, le type de liquide utilisé et le nombre de pots à mettre en place pour avoir une précision de l'activité-densité et de la richesse spécifique à 95%. L'analyse des résultats montre une forte corrélation de l'abondance et de la richesse spécifique entre les grands pots et les petits pots, celles-ci étant plus importantes dans les grands pots. En revanche, aucun des liquides (vinaigre ou eau salée à 50 g/l) ne s'avère être plus attractif que l'autre. Un type de piège utilisant des pots « cendriers de plage » (coniques, petits et plus faciles à mettre en place) a été comparé avec des pots cylindriques (plus grands). Les résultats montrent que les premiers, de par leur taille inférieure, captent une abondance et une richesse spécifique significativement inférieures. L'analyse de la corrélation entre les deux types de pièges est en cours. Ces résultats permettront par la suite de compiler des jeux de données obtenus avec des protocoles de piégeage différents. S'il semble que la densité de pots permettant de caractériser l'activité-densité des carabes à une précision de 95% est très élevée (10 à 15 pots pour une zone de 3 000 m²), il faut préciser que ces résultats ont été obtenus sur un dispositif avec une faune peu abondante et peu diversifiée (ce qui constitue en soi une originalité, la plupart des travaux passés ayant été réalisés en milieux naturels ou semi-naturels).

5. Etude des régulations biologiques

L'enjeu pour des systèmes de cultures économes en produits phytosanitaires, voire agro-écologiques, est de pouvoir analyser de manière simplifiée la pression biotique subie par les systèmes de culture, et d'évaluer l'intensité du service de régulation naturelle sur les ravageurs des cultures et les facteurs qui le détermine, afin de progresser dans la conception et l'évaluation de systèmes de cultures.

5.1 Etude de la prédation des graines d'adventices par les Carabes

Le but de l'étude était d'évaluer si les systèmes de culture économes en produits phytosanitaires permettaient, par des modifications des communautés de flore adventice et de carabidés, de favoriser la prédation des graines d'adventices par les carabidés et, si oui, lequel de ces systèmes la favorise le plus. Pour cela, des mesures de la flore adventice (abondance de la flore levée), de communautés de carabes et de taux de prédation de graines d'adventices ont été effectuées sur 22 parcelles réparties dans différentes unités expérimentales. Les communautés de carabes ont été étudiées par la pose de 4 pièges Barber et le taux de prédation d'adventices estimé par des cartes de prédation contenant 10 graines de *Viola arvensis* et exposées au sol, avec et sans cage excluant la prédation par les vertébrés (Figure 8).

Deux sessions de mesure de 4 jours à 1100°C/j puis à 1500°C/j depuis le 1^{er} janvier, ont été effectuées. Les systèmes de culture étudiés incluaient notamment les systèmes contrastés de l'essai PIC Adventices (UE INRA de Bretenière) et les parcelles de Rés0Pest ; les cultures étudiées étaient des céréales d'hiver (13 parcelles), colza (6), soja (2) et tournesol (1).



Figure 8 : Cartes de prédation de graines de *Viola arvensis* avec (photo de droite) et sans (photo de gauche) cage d'exclusion.

5.1.1 Résultats

L'étude a montré que l'espèce cultivée est le facteur majeur expliquant la flore adventice, les communautés de carabes et les taux de prédation des graines d'adventices. En revanche, la forte variabilité de situations rencontrées n'a pas permis de mettre en évidence d'effets significatifs du système de culture sur les trois variables étudiées. Plus de 40 espèces de carabes ont été répertoriées sur l'ensemble des 22 parcelles et plus de la moitié des individus piégés appartenaient à des espèces consommant des graines d'adventices. Le colza s'est révélé accueillir au moins deux fois plus d'individus par parcelle que les autres cultures, ce que l'on retrouve dans d'autres études (Labruyère *et al.*, 2016a). Le fait que nos observations indiquent un stade plus avancé de la flore adventice dans les colzas (et qui produisent donc plus de graines) que dans les autres cultures peut en partie expliquer ce résultat. En effet, une étude récente suggère que les carabes répondent à l'offre en graines dans les champs et se regroupent sur les ressources alimentaires mises à disposition lors de la pluie de graines (Diehl *et al.*, 2012). Il est également probable que les nombreuses proies animales disponibles dans le colza attirent les carabes omnivores (Labruyère *et al.*, 2016b).

Les taux de prédation des graines d'adventices sans cage à exclusion étaient en moyenne d'environ 60%, avec une variation importante entre parcelles. La comparaison entre les taux de prédation sans ou avec cage à exclusion de vertébrés menée sur les essais de Bretenière indique que la prédation par les vertébrés a été importante au moment des observations. Ceci n'est pas surprenant puisqu'au cours des deux sessions de mesure, nous avons piégé dans les pots Barber une musaraigne musette, trois souris domestiques et six campagnols des champs, ce qui suggère qu'au moment de l'étude, les populations de ces micromammifères étaient importantes sur les essais. D'autres études suggèrent que les micromammifères peuvent être une cause importante de prédation de graines d'adventices (Cardina *et al.*, 1996). Enfin, les mesures de prédation sur les cartes protégées de la prédation par les vertébrés étaient bien corrélées à l'abondance de carabes potentiellement consommateurs de graines. Ceci confirme les études menées localement sur la relation entre abondance de carabes et taux de prédation d'adventices (Trichard *et al.*, 2013 ; Petit *et al.*, 2014). Si l'on analyse uniquement les données obtenues à l'aide de cartes de prédation sous cage, cette prédation était plus élevée dans le colza, ce qui reflète le fait que les carabes y étaient plus abondants.

5.1.2 Discussion et conclusions

Cette étude a permis de mettre en évidence que la prédation des graines d'adventices peut être importante dans les systèmes étudiés et qu'elle résulte à la fois de prédateurs invertébrés, ici les carabes, mais aussi de consommateurs vertébrés. Elle démontre aussi que l'espèce cultivée en place est un facteur prépondérant de la composition des communautés de flore adventice, de carabes et des taux de prédation observés. L'importante variabilité rencontrée entre les parcelles du dispositif explique en grande partie pourquoi nous n'avons pu mettre en évidence de différences majeures entre les

différents systèmes de culture et notamment pourquoi les systèmes très économes en produits phytosanitaires ne se sont pas différenciés. La variabilité des résultats concernant l'abondance des carabes et les taux de prédation peut être notamment liée au contexte paysager autour des parcelles étudiées, un facteur dont l'importance a été plusieurs fois démontré (Petit *et al.*, 2015). Il serait souhaitable de mener des études complémentaires incluant un plus grand nombre de parcelles par système de culture et des mesures plus étendues dans le temps.

5.2 Evaluation de l'influence de trois systèmes de culture différents sur les populations de ravageurs et leur régulation biologique

Les systèmes de culture mis en place dans le Réseau Rés0Pest ont pour objectif de tester des combinaisons de pratiques agricoles de protection intégrée visant à augmenter les processus écologiques de régulation biologique : absence totale de pesticides, augmentation de la biodiversité cultivée dans le temps (rotation longue) et dans l'espace (mélange d'espèces), modifications des dates et densités de semis, choix de variétés résistantes aux maladies. Le travail de suivi avait pour objectif de mesurer avec quelle intensité les processus de régulations biologiques des ravageurs par des organismes auxiliaires étaient accentués, comparativement aux systèmes « témoins ». Les mesures ont été réalisées sur l'essai systèmes de culture sous contraintes (SIC) de Grignon : (i) mesure de la pression biotique via le comptage des pucerons, des criocères et des charançons de la tige et l'aspiration des méligèthes et des pucerons des céréales, (ii) quantification du taux de parasitisme du puceron, des méligèthes et du charançon de la tige et (iii) pose de pièges Barber pour évaluer les populations de carabes et d'araignées.

5.2.1 Résultats

Sur le site de Grignon, les effets systèmes de culture ont été très difficiles à mettre en évidence tant sur les pucerons que sur les organismes auxiliaires. Néanmoins, en dehors de l'effet date de piégeage, très significatif (plus forte activité/densité des carabes en deuxième session (1500°C/j) en général), l'effet du type de culture était très net : le colza semble grandement favorable aux communautés de carabes sur l'ensemble du réseau, ce qui avait déjà pu être observé à Dijon. On y trouve un plus grand nombre d'individus et un plus grand nombre d'espèces également. Le colza est une culture qui offre un abri favorable aux différentes espèces de carabes pour passer l'hiver de par l'importance du couvert végétal (Marrec *et al.*, 2014). La surface du sol occupée par la tige est un élément important concernant la capacité de déplacement des carabes. Sur l'essai de Grignon, hébergeant des systèmes de cultures sans pesticides mais aussi sans travail du sol, nous avons pu constater que la parcelle où le nombre de carabes était le plus abondant est une parcelle du système « gaz à effet de serre moins », sans travail du sol. Néanmoins l'analyse statistique actuelle ne permet pas encore de valider cette observation, compte tenu de la variabilité des mesures. Enfin, l'absence de pesticides n'a pas permis de montrer un changement de nombre d'individus ou de types d'espèces. L'analyse est encore très partielle et très peu aboutie ; il convient donc de regarder ces résultats avec prudence et de poursuivre les investigations.

5.3 L'utilisation de proies sentinelles pour l'étude des régulations biologiques

Un article de vulgarisation scientifique dans lequel nous faisons part de notre expérience et de nos réflexions sur l'utilisation des proies sentinelles et l'interprétation des prédateurs observés est en cours de rédaction et sera soumis à la revue *Phytoma*. L'utilisation des proies sentinelles est un excellent outil pour montrer l'existence de prédation des proies et peut être utilisée pour comparer des cultures ou des systèmes moyennant certaines précautions. La donnée observée correspond à la probabilité qu'une proie soit consommée dans un laps de temps donné à une période donnée. (1) Le premier écueil est celui de l'identité des prédateurs. Les proies exposées sont généralement mortes et sont donc potentiellement la cible de nécrophages qui ne s'attaqueraient pas à des ravageurs vivants. Un échantillonnage complémentaire de biodiversité peut s'avérer utile. (2) Il vaut mieux utiliser des proies sentinelles qui soient morphologiquement et taxonomiquement les plus proches possibles des

ravageurs, certains ennemis naturels, même généralistes, pouvant avoir des préférences alimentaires (taille, couleur ou identité des proies). (3) Il faut placer les proies, autant que possible, dans les conditions où se trouvent les ravageurs (sol, frondaison, extrémité des rameaux, ...), la communauté d'auxiliaires pouvant être spatialement structurée. (4) Il y a un effet de dilution : les proies sentinelles sont moins consommées si des proies alternatives sont plus nombreuses dans la parcelle et plus attractives. Là encore une connaissance des proies alternatives disponibles facilite l'interprétation des données. (5) Les taux de prédation sur les proies sentinelles sont hétérogènes au sein d'une parcelle ce qui nécessite la pose d'un nombre suffisant de proies et de bien réfléchir le plan de pose en fonction des sources d'hétérogénéité potentielles (présence d'une haie, sol plus humide, ...). (6) Enfin, le lien entre régulation d'un ravageur (c'est-à-dire réduction de son niveau de population) et taux de prédation de proies sentinelles est encore un sujet de recherche. L'utilisation de proies sentinelles ne doit donc pas remplacer d'autres approches, certes plus lourdes, telles que des observations directes ou des expérimentations d'exclusion des prédateurs.

6. Guide d'aide au choix d'une stratégie d'échantillonnage

L'amélioration du recueil et de l'exploitation des données scientifiques ainsi que le développement de stratégies d'échantillonnage peu coûteuses est décisif. Or, le plus souvent les stratégies d'échantillonnages sont reprises d'une année sur l'autre ou à partir de publications sans que le rapport précision/effort d'échantillonnage n'ait été évalué. Les expérimentateurs ont besoin d'informations (de base) sur l'échantillonnage et la précision des résultats obtenus afin de définir au mieux des stratégies d'échantillonnage adaptées aux objectifs de précision et aux moyens disponibles. Ainsi, l'outil proposé par le projet CASIMIR vise à (i) caractériser une intensité moyenne des stress biotiques ou une densité moyenne d'organismes observés, (ii) optimiser l'échantillonnage à l'échelle de la parcelle et (iii) proposer des optimisations de l'échantillonnage, adaptées aux besoins des utilisateurs (préciser la taille d'échantillon et la répartition des observations dans l'espace).

Ce travail qui repose essentiellement sur une analyse bibliographique des généralités sur l'échantillonnage, a permis de préciser les types d'échantillonnage réalisés en agronomie et en écologie, ainsi que les types de questions fréquemment posées lors de la conception de stratégies d'échantillonnage (taille d'échantillon, plan d'échantillonnage, utilisation de modèles). Cette analyse bibliographique non exhaustive repose sur des déterminants qui influencent le choix de la taille de l'échantillon et la répartition spatiale des observations, il s'agit de (i) la typologie des développements spatiotemporels des diverses composantes biotiques, (ii) la typologie des variables descriptives pour les diverses composantes biotiques et (iii) les outils mathématiques concourant à la conception de stratégies d'échantillonnage efficaces.

L'outil a été retravaillé afin qu'il soit accessible au plus grand nombre d'utilisateurs (parfois non-initiés en statistiques). Il vise à obtenir une information de type « diagnostic », à travers l'évaluation des populations de bioagresseurs et/ou d'ennemis naturels, ainsi que l'évaluation de dégâts et/ou l'évaluation des régulations biologiques. Il permet d'établir une stratégie d'échantillonnage et/ou d'analyser une stratégie d'échantillonnage éprouvée afin, si possible, d'en réduire les coûts d'échantillonnage ou bien de renforcer l'effort d'échantillonnage pour atteindre les objectifs visés. Il se présente en différentes parties :

- Le guide qui peut être utilisé seul si l'utilisateur est aguerri en statistiques. Il s'agit d'une suite de questions et de tâches pour lesquelles il est parfois nécessaire de consulter les informations détaillées présentes dans la partie « Ressources théoriques ».
- Les ressources théoriques sur les stratégies d'échantillonnage pour la caractérisation de la composante biotique des agroécosystèmes. Cette partie propose des pistes de réflexion

pour élaborer des stratégies d'échantillonnage visant à obtenir des informations de type diagnostic.

- Les exemples qui sont des études scientifiques menées par l'INRA ou issues de la bibliographie et utilisées comme support de démonstration à l'optimisation de l'échantillonnage.

Le guide est disponible sur le site Quantipest.

Conclusion

Le projet CASIMIR propose un certain nombre de protocoles simplifiés destinés à recueillir des informations sur les systèmes de culture du réseau DEPHY, en particulier le réseau FERME. Des tests réalisés par des stagiaires et par des experts et des acteurs du réseau DEPHY ont montré que ces protocoles simplifiés étaient réalistes quant à leur mise en œuvre sur le terrain. Il reste maintenant à savoir comment ces protocoles seront déployés sur le terrain et quel sera le recueil de données réalisé afin d'envisager l'exploitation de ces données au-delà de leur vocation de diagnostic à la parcelle.

Le déploiement de ces protocoles passe par leur appropriation par les acteurs de terrain et le projet CASIMIR a réalisé quelques outils pédagogiques allant dans ce sens mais il faudrait continuer cet effort en se basant sur ce qui a été proposé. On peut mentionner les guides de suivi par culture qui seraient à généraliser ainsi que la réalisation de vidéos montrant les principaux tours de main utiles à l'application des protocoles. Une difficulté mentionnée par les ingénieurs réseau DEPHY est la reconnaissance des adventices lors des relevés de flore. Il serait souhaitable de proposer des formations à la reconnaissance des adventices (ACTA, Arvalis-Institut du végétal) en complément des didacticiels d'autoformation qui ont été réalisés mais qui sont principalement adaptés aux grandes cultures. Une mise à jour pour adapter ces didacticiels aux autres filières serait aussi intéressante.

De nombreuses données sur les régulations biologiques ont été récoltées lors des stages et leur valorisation, amorcée dans le projet CASIMIR, reste à poursuivre. En particulier les effets des systèmes de culture sont difficiles à mettre en évidence en raison de la diversité de ces systèmes et de la complexité des phénomènes étudiés. Il serait important de travailler à la mise au point d'une grille d'analyse fonctionnelle des effets des systèmes de culture afin de permettre l'analyse multi-site des différents systèmes de culture de Rés0Pest et de leurs effets sur les ravageurs, les auxiliaires et la régulation biologique. Un autre chantier à mener serait de travailler à la mise au point d'indicateurs simples permettant de caractériser les effets d'un système de culture sur les régulations biologiques.

Références bibliographiques

Bohan D.A., Boursault A., Brooks D.R., Petit S., 2011. National-scale regulation of the weed seedbank by carabid predators. *Journal of Applied Ecology*. 48, 888-898

Cardina J., Sparrow D.H., 1996. A comparison of methods to predict weed seedling populations from the soil seedbank. *Weed Science*. 44, 46-51

Diehl E., Wolters V., Birkhofer K., 2012. Arable weeds in organically managed wheat fields foster carabid beetles by resource- and structure-mediated effects. *Arthropod-Plant Interactions*, 6, 75–82.

Cortello J., Thomas C., Lavigne C. Evaluation du potentiel de régulation biologique en vergers à l'aide de cartes de prédation. Soumis aux Cahiers des techniques de l'INRA.

Froger M., Cellier V., Fontaine L, Guillemain J.P., Rodriguez A., Cordeau S., 2015. Accompagner les réseaux DEPHY-FERME et DEPHY -EXPE dans la caractérisation de l'effet des systèmes de culture sur la flore adventice. Rencontres sur la Gestion Durable des Adventices, Paris, FRA (2015-12-15).

Froger M., Cellier V., Fontaine L., Guillemain J.P., Rodriguez A., Cordeau S., 2015. Accompagner les agriculteurs dans la caractérisation de l'effet des systèmes de culture sur la flore adventice. Colloque du RMT systèmes de culture innovants, Paris, FRA (2016-05-17).

Froger M., Cellier V., Aubertot J.N., 2016. Outil d'aide à la conception de stratégies d'échantillonnage pour caractériser la composante biotique des agroécosystèmes.

Labruyere S., Bohan D.A., Biju-Duval L., Ricci B., Petit S., 2016a. Local, neighbor and landscape effects on the abundance of weed seed-eating carabids in arable fields: A nationwide analysis. *Basic and Applied Ecology*, 17, 230-239.

Labruyere S., Ricci B., Lubac A., Petit S., 2016b. Crop type, crop management and grass margins affect the abundance and the nutritional state of seed eating carabid species in arable landscapes. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 231, 183-192.

Petit S., Labruyere S., Trichard A., Ricci B., Bohan D.A., 2015. Gestion territoriale des adventices : effets des propriétés du paysage sur les communautés adventices et sur leur régulation par les carabidae. *Innovations Agronomiques* 43 (2015), 71-82.

Petit S., Boursault A., Bohan D.A., 2014. Weed seed choice by carabid beetle (Coleoptera: Carabidae): Linking field measurements with laboratory diet assessments. *European Journal of Entomology*, 111, 615-620.

Rodriguez A., Vacher C., Quilliot E., Guillemain J.P., Munier-Jolain N., 2012. Guide méthodologique de suivi de la flore adventice RMT Florad <http://www.florad.org/moodle/course/view.php?id=68#section-10>

Plus de références sur Quantipest :

http://www.inra.fr/quantipest_fre/Quantification-des-bioagresseurs-et-de-leurs-degats/Methodologie-pour-la-quantification-des-bioagresseurs-et-de-leurs-degats/CASIMIR-Guide-echantillonnage

http://www.inra.fr/quantipest_fre/Quantification-des-bioagresseurs-et-de-leurs-degats/Quantification-des-adventices/CASIMIR-Protocoles-de-suivi-des-populations-d-adventives-dans-les-parcelles-agricoles

http://www.inra.fr/quantipest_fre/Quantification-des-bioagresseurs-et-de-leurs-degats/Quantification-des-adventices/CASIMIR-Protocoles-de-suivi-des-populations-d-adventives-dans-les-parcelles-agricoles/CASIMIR-fiches-de-suivi-adventices-carabes-et-pucerons

http://www.inra.fr/quantipest_fre/Didacticiels/Identification/Adventices/CASIMIR-Didacticiels-de-reconnaissance-des-adventices-des-grandes-cultures

http://www.inra.fr/quantipest_fre/Quantification-des-bioagresseurs-et-de-leurs-degats/Grandes-cultures/Colza-oleagineux/Suivi-de-bioagresseurs-multiples/CASIMIR-Guide-d-observation-colza

http://www.inra.fr/quantipest_fre/Quantification-des-bioagresseurs-et-de-leurs-degats/Grandes-cultures/Ble/Suivi-de-bioagresseurs-multiples/CASIMIR-Guide-d-observation-ble

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)