

**AFPP – CINQUIÈME CONFÉRENCE INTERNATIONALE
SUR LES MÉTHODES ALTERNATIVES DE PROTECTION DES PLANTES
LILLE – 11 AU 13 MARS 2015**

**LES METHODES ALTERNATIVES DE GESTION DES ADVENTICES – ENJEUX ET PISTES EXPLOREES PAR
LES PARTENAIRES DU GIS GC-HP2E**

A. RONCEUX ⁽¹⁾, F. ANGEVIN ⁽²⁾, G. CHANCRIN ⁽³⁾, S. GABA ⁽⁴⁾, J. LIEVEN ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Cetiom, Centre de Grignon, avenue Lucien Brétignières, 78850 Thiverval-Grignon, France, ronceux@cetiom.fr, lieven@cetiom.fr

⁽²⁾ Inra, UAR 1240 Eco-Innov, avenue Lucien Brétignières, 78850 Thiverval-Grignon, France frederique.angevin@grignon.inra.fr

⁽³⁾ Bayer SAS, 16 rue Jean-Marie Leclair, 69009 Lyon, France, guillaume.chancrin@bayer.com

⁽⁴⁾ Inra, UMR1347 Agroécologie, 17 rue Sully, 21000 Dijon cedex, France, sabrina.gaba@dijon.inra.fr

RÉSUMÉ

Le plan Ecophyto impose une réduction d'usage des produits phytosanitaires. Pour cela, il s'agit de repenser la gestion des bioagresseurs, dont les adventices qui sont les plus difficiles à contrôler. Les enjeux liés à la maîtrise aux adventices sont présentés ici, ainsi qu'un bilan des réponses apportées en matière de méthodes alternatives pour leur gestion par les partenaires du programme « Gestion durable des adventices » du GIS GC-HP2E. Un focus est fait sur les méthodes et outils faisant l'objet d'investissements actuels : couverts végétaux, nouvelles technologies pour le désherbage, récupérateur de menues pailles, contrôle biologique. La combinaison de méthodes est une nécessité pour la maîtrise des adventices et les efforts de recherche et de développement pour la compréhension des effets à des échelles larges (système de culture et plus) sont à poursuivre.

Mots-clés : désherbage, adventice, grande culture, stratégie de gestion, GIS GC-HP2E.

ABSTRACT

ALTERNATIVE MANAGEMENT PRACTICES FOR WEED MANAGEMENT – CHALLENGES AND SOLUTIONS EXPLORED BY THE FRENCH GROUPMENT GIS GC-HP2E

The French national plan on pesticides (Ecophyto) is aiming to reduce their use. In this prospect, new solutions must be found for pest management. Among them, weeds are the most difficult to control. Challenges for weed management and solutions built by R&D partners involved in the French groupment on arable crops (GIS GC-HP2E) are presented in this communication. The focus will be put on methods and tools currently tested: cover crop, new technologies for weeding, weed seed collection, biological control. Combining different methods is necessary to control weeds. Ongoing efforts on large scale (cropping system and more) must be continued.

Keywords: weeding, weed, arable crop, management practice, GIS GC-HP2E.

INTRODUCTION : LES ENJEUX LIES A LA GESTION DES ADVENTICES EN GRANDES CULTURES ET LES CONTRIBUTIONS DU GIS GC-HP2E POUR Y REPONDRE

LA GESTION DES ADVENTICES: UN EQUILIBRE A TROUVER

Les adventices ou « mauvaises herbes » sont les principaux bioagresseurs des cultures et leur mauvaise gestion occasionne des pertes considérables à la fois en quantité et en qualité. Cela est notamment dû à la compétition qu'elles exercent sur les cultures pour les ressources et à leur rôle dans le maintien de certains pathogènes. De plus, les graines des adventices constituent un « stock semencier » mettant plus ou moins de temps à s'épuiser selon les espèces. Leur gestion ne peut donc se faire que sur le long terme afin d'éviter la constitution de ce stock et de l'épuiser au plus vite lorsqu'il est présent. La maîtrise de ces bioagresseurs est aujourd'hui rendue complexe pour plusieurs raisons :

- Dans les systèmes de production actuels, la lutte chimique joue un rôle essentiel pour la gestion des adventices. Cependant, la pression sociétale a amené les pouvoirs publics européens et français (directives cadres sur l'eau¹ et sur les pesticides², plan Ecophyto³,...) à encadrer les homologations et les usages des produits phytosanitaires, dont les herbicides qui sont les principaux produits retrouvés dans les eaux. Il s'agit donc de trouver de nouvelles voies de gestion en réponse à ces enjeux réglementaires.
- La réduction des substances actives disponibles⁴ a pour conséquence de diminuer le nombre de modes d'action herbicides mobilisables pour le contrôle des adventices. Une des conséquences directe de cet état de fait réside dans la variabilité de l'efficacité des désherbages, causant des changements parfois très rapides sur la composition quantitative et qualitative des flores. Pour les problèmes les plus fréquents et les plus importants (exemple des graminées en céréales et de certaines dicotylédones en colza), quelques substances actives spécifiques sont majoritairement utilisées ; cela augmente donc la pression de sélection sur ces bioagresseurs et, de là, le risque de développement de résistances. Dans certaines situations, les cultures risquent de perdre leur compétitivité si des moyens efficaces de lutte ne sont pas mis en œuvre.
- Les techniques alternatives aux herbicides disponibles, prises individuellement, ne sont pas aussi efficaces que l'utilisation d'herbicides et des contraintes organisationnelles et économiques font très souvent obstacle à leur développement. De ce fait, pour gérer les adventices, il s'agit de mobiliser des combinaisons de pratiques adaptées au contexte de l'exploitation et de la parcelle.
- Par ailleurs, si les adventices ont des impacts sur le rendement et parfois sur la santé humaine (cas de l'ambrosie), elles sont à la base de nombreuses chaînes trophiques dans les agroécosystèmes assurant notamment le maintien de pollinisateurs. Or, la gestion intensive des cultures a conduit à une perte importante de la biodiversité adventice dans ces systèmes.

La maîtrise des adventices demande donc de trouver un équilibre entre rentabilité économique des exploitations, maintien de la production agricole en quantité et en qualité, réduction des usages et

¹ La directive 2000/60/CE établit un « cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau ». Elle demande de veiller à la non-dégradation de la qualité des eaux par le biais de plans de gestion ayant démarré en 2010. L'objectif est d'atteindre en 2015 un bon état général tant pour les eaux souterraines que pour les eaux superficielles, y compris les eaux estuariennes et côtières.

² La directive 2009/128/CE prévoit que les États membres prennent toutes les mesures nécessaires afin d'instaurer « un cadre pour parvenir à une utilisation des pesticides compatible avec un développement durable en réduisant les risques et les effets des pesticides sur la santé humaine et sur l'environnement et en encourageant le recours à la lutte intégrée contre les ennemis des cultures et à des méthodes ou techniques de substitution, telles que les moyens non chimiques alternatifs aux pesticides ».

³ Le plan Ecophyto est une initiative lancée en 2008 à la suite du Grenelle de l'Environnement. Il est piloté par le Ministère de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt et vise à réduire progressivement l'utilisation des pesticides tout en maintenant une agriculture économiquement performante (<http://agriculture.gouv.fr/ecophyto>).

⁴ La directive 91/414/CE relative à la mise sur le marché des produits phytosanitaires avait pour objectif de protéger l'utilisateur, le consommateur et l'environnement au sens large en imposant une autorisation de mise sur le marché (AMM) pour les produits phytosanitaires avec une évaluation toxicologique, écotoxicologique, environnementale et d'efficacité, ce qui a conduit à écarter les produits les plus toxiques ou trop persistants.

des impacts des herbicides et préservation de la biodiversité dans les parcelles cultivées. Cette communication a pour objet de mettre en lumière le rôle du GIS GC-HP2E dans la structuration de la recherche et du développement pour élaborer et évaluer des méthodes alternatives de gestion des adventices, pouvant être combinées pour réduire le recours aux herbicides. Un focus sera fait sur les méthodes innovantes faisant actuellement l'objet d'études ou en cours de développement.

LE GIS GC HP2E, UNE STRUCTURATION DE LA R&D POUR REPONDRE AUX ENJEUX LIES A LA GESTION DES ADVENTICES

Principes et fonctionnement du GIS GC-HP2E

Le Groupement d'Intérêt Scientifique « Grandes Cultures à Hautes Performances Economiques et Environnementales » (GIS GC-HP2E, www.gchp2e.fr) a été créé en 2009 suite au Grenelle de l'Environnement pour rapprocher les acteurs de la recherche et du développement. Il s'agit d'identifier des pistes pour améliorer les performances des systèmes *via* un fonctionnement coopératif, assurant ainsi la mise en œuvre de stratégies communes et le relais entre les différents maillons du système de R&D en complémentarité avec les dispositifs existants, notamment le Réseau Mixte Technologique « Gestion de la flore adventice » (RMT Florad) en ce qui concerne les adventices.

Le GIS GC-HP2E regroupe 26 partenaires de la recherche, du développement, de l'enseignement supérieur et du monde économique⁵ et constitue un forum d'échanges pour faire émerger des thématiques prioritaires. Son Comité d'Orientation Stratégique a ainsi identifié quatre priorités :

- Les innovations variétales
- La gestion durable des adventices.
- L'analyse des performances des systèmes de grande culture
- La gestion durable des sols

Des groupes de travail ont été constitués pour chacune de ses thématiques, réunissant les partenaires intéressés.

Actions menées sur adventices et premiers résultats acquis

Les actions menées par le GIS GC-HP2E sur la thématique « gestion durable des adventices » ont démarré en 2010 et ont abouti en 2012 à l'élaboration d'un programme-cadre listant les besoins prioritaires des partenaires⁶ sur cette question. Ils concernent :

(i) la conception et l'évaluation de stratégies de gestion durable des adventices. Un accent a été mis sur la modélisation (modèle FLORSYS⁷, Colbach et al., 2014) , nécessaire pour simuler sur le long terme les impacts des pratiques sur la flore adventice et sur la conception d'outils d'aide à la décision pour aider à la mise en œuvre des stratégies.

(ii) la détection et la prévention des résistances aux herbicides. Dans un contexte où le nombre de matières actives herbicides disponibles est réduit, il s'agit de concevoir des stratégies permettant de retarder le développement de populations résistantes à ces produits et ainsi garantir leur efficacité sur le long terme. Un plan de travail a été proposé par les partenaires du GIS pour promouvoir des stratégies de gestion durable des produits inhibiteurs de l'ALS, largement répandus aujourd'hui en grandes cultures. Par ailleurs, des méthodologies de détection des résistances simples à mettre en œuvre en routine sont nécessaires pour discriminer les échecs de désherbage des cas réels de résistance. De tels outils sont en cours d'élaboration et ne sont pas encore opérationnels notamment en ce qui concerne la détection des résistances non liées à la cible.

⁵ Membres actuels du GIS GC-HP2E : Inra, ARVALIS – Institut du végétal, Cetiom, ITB, Unip, APCA, Onema, FNAMS, Irstea, Itab, AgroParisTech, Acta, Coop de France, FNA, Gnis, UIPP, Unifa, Axérial, Bayer Crop Science, In Vivo, Vivescia, Syngenta, Terrena, MAAF, FNE, Geves.

⁶ Partenaires actuels du programme « adventices »: Inra, ARVALIS – Institut du végétal, Cetiom, ITB, APCA, Acta, Bayer Crop Science, In Vivo, MAAF et RMT FlorAd.

⁷ Le modèle FLORSYS, développé par l'INRA Dijon, permet la simulation de l'impact des pratiques agricoles sur la dynamique du peuplement adventice pour construire des systèmes plus économes en herbicides.

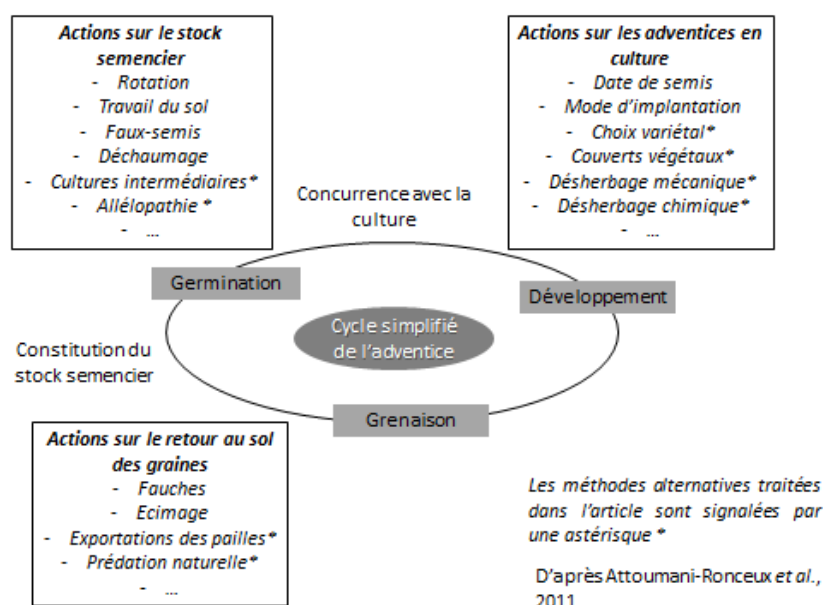
(iii) la valorisation de dispositifs existants ou la mise en place de nouveaux dispositifs pour acquérir des références. Ce volet vient en appui aux deux précédents, dans la mesure où il s'agit de coordonner, de mettre en place ou de suivre des dispositifs d'observation ou d'expérimentation permettant d'apporter des connaissances sur les adventices et sur l'impact des pratiques mises en œuvre pour leur gestion. Le GIS GC-HP2E contribue ainsi aux réflexions du Comité National d'Epidémiosurveillance sur l'intégration des adventices dans le dispositif existant et le développement de méthodologies liées à ce type de dispositif (projets VESPA, CASIMIR, SYNOEM,... financés dans le cadre de l'appel à projets « Pour et Sur le Plan Ecophyto »).

Le GIS GC-HP2E coordonne donc des travaux concernant des pratiques de gestion durable des adventices. Dans la suite du texte, un focus est réalisé sur les méthodes alternatives de gestion que les partenaires du GIS GC-HP2E explorent actuellement.

LES METHODES ALTERNATIVES DE GESTION DES ADVENTICES TESTEES PAR LES PARTENAIRES DU GIS GC-HP2E

Plusieurs méthodes alternatives aux herbicides sont envisageables⁸, intervenant à différents moments du cycle des adventices (figure 1) : adaptation de la rotation, travail du sol, augmentation de la couverture du sol, désherbage mécanique, allélopathie, bioherbicides,... (Attoumani-Roncean et al., 2011). L'objectif est de faire ici un tour d'horizon des méthodes actuellement étudiées chez les partenaires du GIS GC-HP2E et des outils permettant d'optimiser leur efficacité.

Figure 1 : Panorama des méthodes alternatives de gestion des adventices en grandes cultures
(Overview of alternative management methods for weed management in arable crops)



LES COUVERTS VEGETAUX POUR LIMITER LE DEVELOPPEMENT DES ADVENTICES : DES SOLUTIONS A ETUDIER

L'implantation de couverts végétaux, en interculture ou en association avec la culture, présente de nombreux intérêts agronomiques et environnementaux potentiels : piégeage des nitrates en interculture, amélioration de l'autonomie en azote du système, limitation de l'érosion des sols, stockage de matière organique et de carbone dans les sols, maîtrise des ravageurs... (Shili-Touzi, 2009; ARVALIS - Institut du végétal, 2011; Ghesquière et Cadillon, 2012). En ce qui concerne les adventices, les couverts végétaux peuvent permettre de limiter leur développement en les

concurrentiellement directement (accès à la lumière et aux ressources), *via* un effet mulch dans la culture suivante ou dans certains cas par un effet allélopathique (exsudats racinaires toxiques empêchant la germination et la croissance des adventices). Ce rôle des couverts révèle toute son importance dans les systèmes réduisant le travail du sol (TCS, semis direct,...).

Cependant, l'utilisation de ces couverts pose question. Ils peuvent en effet entrer en compétition avec la culture principale, entraînant une baisse de productivité. Le couvert en interculture peut par exemple avoir un effet au printemps suivant en limitant les ressources disponibles ou en contraignant le calendrier des interventions culturales dédiées à la préparation de l'implantation. Pour éviter cela, il s'agit de maîtriser le couvert en tenant compte notamment des périodes et modes de destruction. Plusieurs méthodes de destruction peuvent être envisagées : roulage, broyage, labour, travail du sol, destruction par le gel voire destruction chimique, chacune présentant ses avantages et des inconvénients (Ghesquière et Cadillon, 2012).

Depuis 2009, le Cetiom mène des essais pour acquérir des références sur les couverts associés. Ainsi, dans le Berry, plusieurs espèces ont été testées en association avec le colza (Landé et Sauzet, 2012), en focalisant sur des légumineuses gélives permettant de bénéficier d'un apport d'azote par fixation symbiotique et d'éviter l'utilisation d'herbicides pour détruire le couvert. D'après les premiers enseignements (Gaucher et al., 2014), les couverts associés permettent d'augmenter la concurrence déjà exercée par le colza vis-à-vis des adventices, cet effet dépendant à la fois de la biomasse du colza et du couvert. Cette concurrence ne s'exprime toutefois pas sur les flores à levée précoce comme le géranium, mais peut se manifester quand les adventices lèvent quelques semaines après le couvert. Les couverts associés à base de lentilles semblent être parmi les plus efficaces, mais les résultats obtenus restent à confirmer. Dans les situations à faible enherbement et/ou à flore à levée tardive, la stratégie consistant à coupler l'usage d'herbicides contre les dicotylédones à doses réduites et la concurrence des couverts associés semble efficace pour maîtriser l'enherbement. Dans les cas contraires (cas des géraniums), la technique doit être combinée impérativement avec d'autres moyens d'action.

Landé et Sauzet (2012) ont souligné que la connaissance des plantes de couverture et de leurs interactions avec la culture commerciale est essentielle pour la réussite des associations. Or, peu d'études ont été menées pour analyser précisément le rôle des couverts dans la régulation des adventices. L'une des tâches du projet COSAC⁹, déposé par les partenaires du GIS GC-HP2E et retenu en 2014 par l'ANR¹⁰, vise justement à analyser et à quantifier les phénomènes sous-jacents. Cela permettra de donner des clés pour optimiser le choix des couverts en fonction du contexte et des objectifs de l'agriculteur et d'en modéliser les effets sur la flore adventice.

LE DESHERBAGE MECANIQUE ET LA PULVERISATION LOCALISEE : DES PERSPECTIVES APPORTEES PAR LES NOUVELLES TECHNOLOGIES

Les outils de désherbage mécanique (bineuse, herse étrille, houe rotative) constituent une alternative au désherbage chimique mais ont une efficacité irrégulière sur les adventices du fait de l'importance des facteurs pédoclimatiques et du stade des adventices lors des passages d'outils. Comparé au désherbage chimique, le désherbage mécanique requiert plus de technicité (expérience dans la manipulation du matériel et connaissance des parcelles) et est plus gourmand en temps de travail du fait d'un débit de chantier limité et d'une répétition nécessaire des interventions (houe rotative, herse étrille). Les nouvelles technologies apportent cependant des pistes pour améliorer l'efficacité de ces solutions. Slaughter et al. (2008) répertorient ainsi différents types d'innovations technologiques susceptibles de réduire l'usage des herbicides en permettant la spatialisation du désherbage chimique ou l'optimisation du désherbage mécanique.

⁹ Le projet COSAC (pour « Conception de stratégies durables de gestion des adventices dans un contexte de changement ») vise à concevoir des stratégies de gestion des adventices conciliant réduction d'usage des herbicides, maintien de la production agricole et préservation de la biodiversité. Il projette en outre de produire des outils pour aider à cette conception.

¹⁰ ANR : Agence nationale de la recherche.

Tout d'abord, le guidage permet de gagner en précision lors des interventions et d'éviter les manques et les recouvrements. L'utilisation de matériel assistant au guidage ou permettant l'autoguidage, déjà disponibles sur le marché, permet de repérer les lignes de semis et de désherber au plus près de cette ligne, tout en allant plus vite. Le guidage GPS¹¹ offre une précision allant de 5 à 50 m, alors qu'il est de l'ordre de 5 à 50 cm pour le dGPS¹², et de 2 à 5 cm pour le guidage RTK¹³ (Chambre d'agriculture région Nord-Pas de Calais, 2013). Des technologies de guidage sans avoir recours aux satellites existent également, avec des précisions de 2 à 5 cm : systèmes de reprise de marque, de palpeurs de rangs, capteurs photoélectriques, ultrasons, lasers, caméras 3D... Pour illustrer les perspectives apportées par ces technologies, prenons l'exemple d'I-Weed Robot (Intelligent Weed Robot, Gée et al., 2013), une plateforme mobile de désherbage en cours de conception. De taille réduite, il est adapté pour circuler entre les rangs des cultures sarclées et pulvériser de manière autonome. Il s'oriente dans la parcelle *via* un signal RTK et permet une pulvérisation localisée après identification de la couverture du sol en temps réel *via* un système optique basé sur la technologie du Weedseeker (société Trimble). Le prototype construit doit encore être testé expérimentalement.

En cours de développement, la détection et l'identification des « patchs » d'adventices par des capteurs embarqués sur le matériel agricole permet de désherber de manière localisée. Des portes-buses multiples sur le matériel de pulvérisation permettent une modulation intra-parcellaire du désherbage chimique. Cela implique des progrès en analyses d'image pour réduire le délai entre la détection de la tache et le déclenchement de la pulvérisation.

Enfin, la cartographie par drones, robots ou satellites permet de repérer les patchs d'adventices et d'enregistrer leurs coordonnées pour ensuite désherber uniquement sur ces taches. Déjà opérationnelle pour la fertilisation azotée, cette technique reste à améliorer pour le désherbage, notamment pour permettre de mieux discriminer adventices et cultures par analyse d'images sur la base de leurs informations spectrales.

Les nouvelles technologies permettent donc de moduler les apports d'herbicides et de localiser les interventions de manière plus précise et plus rapide. L'utilisation de capteurs et les méthodes d'analyse d'images nécessaires pour les accompagner sont au cœur des recherches actuelles. Toutefois, leur mise en œuvre entraîne des écarts par rapport à la réalité : il existe une marge d'erreur lors du désherbage, pouvant impacter la maîtrise de la flore adventice sur le long terme. Le projet COSAC va ainsi investiguer cette question par la modélisation. L'utilisation de ce type de matériel demande également aujourd'hui un investissement qui n'est pas négligeable et la rentabilité économique de ces matériels reste à évaluer.

LES VARIETES TOLERANTES AUX HERBICIDES : UN ATOUT OU UN RISQUE POUR LE DESHERBAGE DES GRANDES CULTURES ?

Les variétés tolérantes aux herbicides (VTH) constituent une réponse technique simple dans des situations où le désherbage est complexe. Obtenues par sélection classique, les VTH autorisent en effet des applications de post-levée en contournant les problèmes de sélectivité rencontrés chez le colza et le tournesol. L'utilisation de tournesols VTH permet ainsi de maintenir la rentabilité de cette culture dans des zones infestées par exemple par le xanthium (Duroueix, 2014). En colza, les VTH apportent un gain d'efficacité notable en permettant la maîtrise de flores difficiles (géraniums, ravenelles).

Cependant, l'introduction de VTH en colza et tournesol augmente la liste des cultures utilisant des inhibiteurs de l'ALS¹⁴ (imazamox, tribénuronméthyl), herbicides dont le mode d'action est déjà largement utilisé en grandes cultures sur céréales d'hiver, sur maïs, sur betteraves et sur

¹¹ GPS : Global Positionning System

¹² dGPS : Differential Global Positionning System

¹³ RTK : Real Time Kinematic

¹⁴ L'acétolactate synthase (ALS) est la première enzyme commune à la voie de biosynthèse des acides aminés ramifiés, présente dans les plantes et les microorganismes. Les herbicides qui inhibent l'ALS font partie des herbicides les plus utilisés dans le monde, avec de nouvelles matières actives récemment mises au point. Leur action bloque la synthèse de certains acides aminés, entraînant ainsi la sénescence prématurée des jeunes plantules.

protéagineux. L'utilisation de VTH sans adaptation des pratiques culturales augmenterait la pression de sélection des flores résistantes (Beckert et al., 2014) et ce, dans un contexte où les cas de résistances à ces produits se développent (Délye et al., 2013). Pour anticiper ce problème, une analyse de risque a été menée par le Cetiom. Les rotations types impliquant le colza et le tournesol ont été identifiées, les flores communes à ces cultures inventoriées et le risque de développement de résistances analysé (Duroueix et al., 2010). Ceci a débouché sur la proposition de solutions pour limiter le développement des résistances : alternances ou associations de différents modes d'action, mobilisation de leviers agronomiques (faux semis, décalage de dates de semis, binage),... et assurer ainsi la durabilité des technologies VTH et des produits herbicides du groupe HRAC B¹⁵.

Les acteurs concernés (Intituts techniques, Union Française des semenciers, Union des Industries de la Protection des Plantes, Coop de France et Fédération Nationale du Négoce) se sont par ailleurs mobilisés autour du « plan VTH », plan de gestion concertée accompagnant la mise sur le marché de ces solutions. Deux principaux engagements ont été pris : celui de prodiguer un conseil systématique aux producteurs pour assurer la durabilité de cette solution et celui de suivre les pratiques afin de juger l'efficacité des conseils prodigués. L'outil R-Sim (Lieven et al., 2013), fruit d'une collaboration entre le Cetiom, Arvalis- Institut du végétal, l'ITB et l'ACTA est ainsi utilisé à cette fin.

L'évitement de l'apparition de résistances continue de poser question dans le cadre du GIS GC-HP2E. pour aller plus loin sur cette question, une analyse des bases de données disponibles chez les partenaires du GIS compilant les flores observées en grande culture ainsi qu'une analyse sociologique de la gestion actuelle des résistances seront menées.

LE BIOCONTROLE DES ADVENTICES : UN CHAMP DE RECHERCHE PEU EXPLORÉ

L'objectif du biocontrôle est d'utiliser des mécanismes et des produits naturels pour le contrôle d'un bioagresseur. La maîtrise des adventices par le biocontrôle peut être réalisée par différents moyens (Blum, 2004) :

- L'utilisation de macroorganismes. Il s'agit soit de maintenir un habitat favorable aux prédateurs naturels des graines de mauvaises herbes (exemple des insectes de la famille des carabidées) ou d'introduire des auxiliaires. Ceux-ci doivent être spécifiques d'une espèce végétale, être aptes à coloniser le milieu et être sans effets sur les organismes non cibles. Les expériences d'introduction d'auxiliaires se sont surtout déroulées en Amérique du Nord et en Australie et concernent des cultures pérennes. L'utilisation de microorganismes. Là encore, il s'agit soit de constituer un habitat favorable, soit d'introduire des populations exogènes. Cependant, l'identification de microorganismes candidats, spécifiques à l'espèce visée et avec un taux de mutation faible, n'est pas aisée.
- Le recours à des substances naturelles : introduction de mycoherbicides (préparation à bases de champignons provoquant des maladies spécifiques), allélopathie et biofumigation (recours à une culture compagne produisant des composés toxiques pour les adventices).

Si les solutions de biocontrôle sont plus « propres » pour l'environnement, elles restent rares en grandes cultures. De plus, leur statut réglementaire est en cours de définition et leur efficacité est variable. L'étude de ces moyens de lutte alternatifs est en définitive peu avancée. Parmi les partenaires du GIS, l'INRA de Dijon investit actuellement dans des recherches sur le rôle des carabidées (Bohan et al., 2011) en tant que consommateurs de graines d'adventices.

LA DIVERSITE ADVENTICE AU SERVICE DE LA PRODUCTION AGRICOLE ?

En complément des innovations technologiques, d'autres pistes de recherche basées sur les processus de régulations biologiques se développent. Basées sur le principe d'intensification écologique (Bommarco et al., 2013; Gaba et al., 2014), ces pistes de gestion reposent sur l'hypothèse que l'agriculture pourrait bénéficier de processus et fonctionnalités écologiques pour maintenir le rendement en limitant les recours aux intrants chimiques (fertilisants, pesticides). Les

¹⁵

Les groupes HRAC permettent de repérer les herbicides appartenant aux mêmes familles chimiques et ayant le même mode d'action. Le groupe HRAC B regroupe ainsi les inhibiteurs de l'ALS : sulfonylurées, les triazolopyrimidines et les imidazolinones.

plantes adventices, qui sont à la base des réseaux trophiques, ont un rôle majeur dans la dynamique de la biodiversité des agroécosystèmes (Marshall et al., 2003) : elles produisent des fleurs pour des insectes pollinisateurs, des graines pour les oiseaux, insectes et mammifères granivores, de la matière végétale pour les herbivores, et de la matière organique à recycler pour la microfaune et les micro-organismes du sol (Gibbons et al., 2006; Rollin et al., 2013). Ce rôle dans la dynamique de la biodiversité laisse augurer que l'intensification écologique serait une voie pour la conception de nouvelles méthodes de gestion des plantes adventices. Le verrou majeur reste cependant la quantification précise de la compétition entre adventices et cultures et de l'impact des leviers agronomiques optimisant la régulation biologique dans des conditions de réduction d'intrants. Ce sont précisément ces verrous qui sont l'objet du projet ANR AgroBioSE. L'objectif du projet est d'identifier des agencements spatio-temporels des paysages agricoles qui permettraient de valoriser les fonctions des espèces adventices au sein des réseaux trophiques tout en maintenant voire augmentant la production agricole. Parmi plusieurs pistes de recherche, il explore le rôle clé des espèces adventices dans le maintien de pollinisateurs domestiques et sauvages dont la fonction de pollinisation permet d'augmenter la production agricole des cultures de colza et de tournesol (Bretagnolle et Gaba, n.d.). En parallèle, la diminution du stock de graines par la prédation de trois groupes de granivores (insectes, rongeurs et oiseaux) est quantifiée dans les parcelles agricoles de la Zone Atelier de « Plaine et Val de Sèvre »¹⁶.

EN CONCLUSION : LA CONCEPTION ET L'EVALUATION DE STRATEGIES COMBINANT DES METHODES ALTERNATIVES, UNE NECESSITE

Les techniques alternatives aux herbicides, prises individuellement, ont des efficacités souvent limitées et ont des effets variables selon le contexte dans lequel elles sont utilisées. De ce fait, la réduction de l'usage des herbicides et le maintien de l'efficacité de ces solutions nécessite l'élaboration de stratégies combinant des pratiques de désherbage alternatives et chimiques adaptées au contexte.

Depuis 2000, des systèmes permettant de maîtriser la flore adventice tout en réduisant l'usage des herbicides sont testés sur le domaine expérimental de l'INRA à Epouisses (Munier-Jolain et al., 2008). Plusieurs systèmes ont été mis en place : le système « conventionnel » local, un système en production intégrée « typique » (combinant diversification de la rotation, raisonnement du travail du sol, adaptation des dates de semis, choix variétal et désherbage mécanique), un système en protection intégrée sans labour, un système en protection intégrée sans désherbage mécanique et un système « zéro herbicides ». Les résultats obtenus sur ce site démontrent la possibilité de maîtriser des infestations d'adventices en réduisant l'usage des herbicides. Toutefois, cela nécessite une reconception des systèmes les rendant plus complexes à gérer du fait de la technicité de certaines méthodes, du temps nécessaire pour les chantiers, ... La rentabilité des cultures utilisées pour diversifier la rotation ainsi que la possibilité d'en assurer les débouchés posent également question. Une évaluation de ces systèmes selon différents critères (impact sur la biodiversité, sur la qualité des eaux,...) est par ailleurs en cours pour approfondir l'analyse.

Ce type d'expérimentations souligne les difficultés méthodologiques liées aux essais à l'échelle du système de culture, indispensables pour comprendre l'impact des pratiques sur les adventices sur le long terme : comment mettre en place ce type d'expérimentations ? Quelles méthodologies pour acquérir des données et analyser les résultats ? Quelle extrapolation des résultats obtenus à une échelle locale ? Ces questions sont étudiées de manière collective par les partenaires du GIS GC-HP2E pour cette échelle. Des questions méthodologiques se posent aussi autour du suivi des adventices à des échelles plus large, tel qu'il est prévu dans le cadre du réseau d'épidémiosurveillance, à la fois pour l'observation des adventices et pour la détection des résistances aux herbicides.

Enfin, pour accompagner la transition vers de nouvelles stratégies, des outils simples, facilement maniables par les agriculteurs et leurs conseillers restent à élaborer (exemple des outils R-Sim (Lieven et al., 2013) pour évaluer les risques d'apparition de résistances ou Odera-Systèmes¹⁷ pour l'impact des systèmes de culture sur la flore.

BIBLIOGRAPHIE

- ARVALIS - Institut du végétal, 2011. *Cultures intermédiaires - Impacts et conduite*. Paris, 236 p.
- Attoumani-Ronceux A., Aubertot J.-N., Jouy L., Mischler P., Omon B., Petit M.-S., Pleyber E., Reau R., Seiler A., 2011. *Guide pratique pour la conception de systèmes de culture plus économes en produits phytosanitaires - Application aux systèmes de polyculture*. Ministère chargé de l'agriculture, 115 p.
- Beckert M., Dessaux Y., Arnold G., Barbier M., Charlier C., Colbach N., Coleno F., Darmency H., Gauvrit C., Lecomte J., Le Corre V., Lemarie S., Marteu T., Mazellier P., Navarro I., Ngo M.-A., Quétier F., Richard C., 2014. *Les variétés végétales tolérantes aux herbicides, un outil de désherbage durable ?*, Quae. ed, Matière à débattre et décider, France, 157 p.
- Blum B.J., 2004. Perspectives pratiques du contrôle biologique des adventices, in: *19^e conférence du Columa - Journées internationales sur la lutte contre les mauvaises herbes*. AFPP, Dijon.
- Bohan D.A., Boursault A., Brooks D.R., Petit S., 2011. National-scale regulation of the weed seedbank by carabid predators. *J. Appl. Ecol.* 48, 888–898. doi:10.1111/j.1365-2664.2011.02008.x
- Bommarco R., Kleijn D., Potts S.G., 2013. Ecological intensification: harnessing ecosystem services for food security. *Trends Ecol. Evol.* 28, 230–238. doi:10.1016/j.tree.2012.10.012
- Bretagnolle V., Gaba S., n.d.. Should we manage weeds for bees? Weed abundance may increase rather than decrease crop yield, through interacting networks of wild and domestic pollinators. *Agronomy for sustainable development*, soumis.
- Chambre d'agriculture région Nord-Pas de Calais, 2013. *Les systèmes de guidage en agriculture - Fiche descriptive*. France, 8 p.
- Colbach N., Collard A., Guyot S.H.M., Mézière D., Munier-Jolain N., 2014. Assessing innovative sowing patterns for integrated weed management with a 3D crop:weed competition model. *Eur. J. Agron.* 53, 74–89. doi:10.1016/j.eja.2013.09.019
- Délye C., Jasieniuk M., Le Corre V., 2013. Deciphering the evolution of herbicide resistance in weeds. *Trends Genet.* 29, 649–658. doi:10.1016/j.tig.2013.06.001
- Duroueix F., 2014. Variétés tolérantes aux herbicides - Une réponse technique bien encadrée. *Perspect. Agric.* 414, 52–53.
- Duroueix F., Lecomte V., Leflon M., Lieven J., 2010. Assurer la durabilité des solutions à base d'inhibiteurs de l'ALS avec l'arrivée de nouveaux herbicides en cultures d'oléagineux, in: *21^{ème} conférence du Columa - Journées internationales sur la lutte contre les mauvaises herbes*. AFPP, Dijon.
- Gaba S., Bretagnolle F., Rigaud T., Philippot L., 2014. Managing biotic interactions for ecological intensification of agroecosystems. *Agroecol. Land Use Syst.* 2, 29. doi:10.3389/fevo.2014.00029
- Gaucher D., Thibord J.-B., Tosser V., Verjux N., Cadoux S., 2014. Santé des végétaux - Des innovations à fort caractère technologique. *Perspect. Agric.* 415, 49–50.
- Gée C., Gobin B., Busvelle E., Villette S., Jones G., Paoli J.-N., 2013. I-Weed Robot : un robot autoguidé pour un désherbage localisé. *22^{ème} conférence du Columa - Journées internationales sur la lutte contre les mauvaises herbes*. AFPP, Dijon.
- Ghesquière J., Cadillon A., 2012. *Choisir et réussir son couvert végétal pendant l'interculture en AB*. France, 16 p.

- Gibbons D.W., Bohan D.A., Rothery P., Stuart R.C., Haughton A.J., Scott R.J., Wilson J.D., Perry J.N., Clark S.J., Dawson R.J.G., Firbank L.G., 2006. Weed seed resources for birds in fields with contrasting conventional and genetically modified herbicide-tolerant crops. *Proc. R. Soc. B Biol. Sci.* 273, 1921–1928. doi:10.1098/rspb.2006.3522
- Landé N., Sauzet G., 2012. Associer son colza à un couvert gélif : une technique à manier avec précaution. *Perspect. Agric.* 390, 54–58.
- Lieven J., Waller F., Duroueix F., Bonin L., Quilliot E., Rodriguez A., 2013. R- sim : un outil web qui évalue le risque de développement de résistances aux herbicides, in: *22e conférence du Columa - Journées internationales sur la lutte contre les mauvaises herbes*. AFPP, Dijon.
- Marshall E.J.P., Brown V.K., Boatman N.D., Lutman P.J.W., Squire G.R., Ward L.K., 2003. The role of weeds in supporting biological diversity within crop fields. *Weed Res.* 43, 77–89. doi:10.1046/j.1365-3180.2003.00326.x
- Munier-Jolain N., Deytieux V., Guillemin J.P., Granger S., Gaba S., 2008. Conception et évaluation multicritères de prototypes de systèmes de culture dans le cadre de la Protection Intégrée contre la flore adventice en grandes cultures. *Innov. Agron.* 75–88.
- Rollin O., Bretagnolle V., Decourtye A., Aptel J., Michel N., Vaissière B.E., Henry M., 2013. Differences of floral resource use between honey bees and wild bees in an intensive farming system. *Agric. Ecosyst. Environ.* 179, 78–86. doi:10.1016/j.agee.2013.07.007
- Shili-Touzi I., 2009. Analyse du fonctionnement d'une association de blé d'hiver (*Triticum aestivum* L.) et d'une plante de couverture sur une échelle annuelle par modélisation et expérimentation. AgroParisTech, Thiverval-Grignon, 189 p.
- Slaughter D.C., Giles D.K., Downey D., 2008. Autonomous Robotic Weed Control Systems: A Review. *Comput Electron Agric* 63–78.