



Maîtriser les adventices dans de nouveaux contextes de production. Leviers techniques & retours d'expériences pour une gestion durable

Frédérique Angevin, Laurent Basilico, Céline Denieul, Sabrina Gaba, Antoine Messean, Etienne Pilorgé, Stéphanie Potok, Alain Rodriguez, Fanny Vuillemin

► To cite this version:

Frédérique Angevin, Laurent Basilico, Céline Denieul, Sabrina Gaba, Antoine Messean, et al.. Maîtriser les adventices dans de nouveaux contextes de production. Leviers techniques & retours d'expériences pour une gestion durable. 2016, 25p. hal-01595377

HAL Id: hal-01595377

<https://hal.science/hal-01595377>

Submitted on 26 Sep 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.

Maîtriser les adventices dans de nouveaux contextes de production

*Leviers techniques & retours d'expériences
pour une gestion durable*

Synthèse des rencontres 2015 du GIS GC HP2E et du RMT Florad



Laurent BASILICO

Les Rencontres sur la gestion durable des adventices en grande culture ont été organisées par le GIS GC-HP2E et le RMT Florad le 15 décembre 2015 au FIAP à Paris. Cette synthèse est disponible sur le site du GIS, ainsi que sur le site du RMT.

CONTACTS

Laurent Basilico
Journaliste, rédacteur, [lbasilico\(a\)free.fr](mailto:lbasilico(a)free.fr)

Pour le GIS GC HP2E

Les animateurs opérationnels
Frédérique Angevin
Ingénieur de Recherche,
Unité Eco-Innov, INRA,
[frederique.angevin\(a\)grignon.inra.fr](mailto:frederique.angevin(a)grignon.inra.fr)

Antoine Messéan
Directeur de l'unité Eco-Innov,
INRA,
[antoine.messean\(a\)grignon.inra.fr](mailto:antoine.messean(a)grignon.inra.fr)

Etienne Pilorge
Responsable du département Veille,
Prospective & International,
Terres Inovia,
[e.pilorge\(a\)terresinovia.fr](mailto:e.pilorge(a)terresinovia.fr)

Stéphanie Potok
Secrétaire générale du GIS GC HP2E,
INRA Transfert,
[stephanie.potok\(a\)paris.inra.fr](mailto:stephanie.potok(a)paris.inra.fr)

Pour le RMT Florad

Alain Rodriguez
Ingénieur spécialiste malherbologie &
désherbage,
Direction Scientifique, Technique &
Internationale, ACTA,
[alain.rodriquez\(a\)acta.asso.fr](mailto:alain.rodriquez(a)acta.asso.fr)

Sabrina Gaba
Chargée de Recherche,
UMR Agroécologie, INRA,
[sabrina.gaba\(a\)dijon.inra.fr](mailto:sabrina.gaba(a)dijon.inra.fr)



INRA : G. Louvriot

Préambule

Facteurs-clés de la productivité en grandes cultures, la maîtrise des adventices et les méthodes qu'elle mobilise sont appelées à de profonds changements. Alors que les stratégies de gestion reposent encore aujourd'hui largement sur l'emploi des herbicides, les exploitants sont confrontés depuis 15 ans à de nouveaux contextes de production, en lien avec les évolutions réglementaires et les attentes de la société : comment réduire la dépendance des systèmes de culture aux intrants chimiques ? Comment mieux préserver la biodiversité et la qualité des eaux, tout en restant performant aux plans agronomique et économique ?

À l'heure où les techniques culturales sans labour connaissent en France un essor important, des éléments de solution pour compenser la suppression de l'effet nettoyant des façons culturales sont en cours d'évaluation. L'utilisation judicieuse de couverts, la mise en œuvre de techniques d'implantation et de systèmes de culture innovants, sont autant de leviers pouvant concourir à une gestion durable des adventices. Tout l'enjeu, pour les acteurs des grandes cultures, est d'identifier les combinaisons de pratiques susceptibles d'offrir les meilleurs résultats selon les contextes pédoclimatiques et les contraintes de chaque exploitation. Réunissant une centaine de participants – chercheurs, conseillers, institutionnels et agriculteurs – le 15 décembre 2015 à Paris, le séminaire national organisé par le GIS GC-HP2E et le RMT Florad a proposé une journée d'information et de débat sur ces questions, au travers de la présentation d'un ensemble d'essais culturaux, de résultats scientifiques et de retours d'expérience. Le présent document constitue une synthèse des connaissances apportées à cette occasion et des réflexions qu'elles ont suscitées.

INRA : N. Beaucardet



LE GIS GC HP2E



INRA : Y. Bouchery

À la suite du Grenelle de l'environnement, l'INRA, plusieurs instituts techniques des filières de grande culture (Arvalis, Terres Inovia, l'ITB), l'APCA et l'Onema ont constitué un groupement d'intérêt scientifique qui vise la mise au point de systèmes de production en grande culture à hautes performances économiques et environnementales.

Ils ont été rejoints par le GEVES, le GNIS, la FNAMS, la DGER-MAAP, AgroParisTech, Coop de France, Vivescia, l'ACTA, l'ITAB, la FNA, InVivo Agrosolutions, Terrena, Axéreal, l'UIPP, la FNE, l'Irstea, Syngenta, Bayer S.A.S et l'UNIFA.

Le GIS a vocation à être une coopérative de programmation et de montage de projets de recherche et développement dont les axes prioritaires sont actuellement : les innovations variétales, la gestion durable des adventices, la gestion durable des sols, l'analyse des performances des systèmes de grande culture.

www.gchp2e.fr

LE RESEAU MIXTE TECHNOLOGIQUE GESTION DE LA FLORE ADVENTICE

La prise de conscience des conséquences environnementales (pollution des eaux, perte de biodiversité) de l'usage des herbicides nécessite de repenser la gestion de la flore adventice. Il est indispensable d'innover dans la conception et la mise au point de nouvelles pratiques, d'itinéraires techniques mixtes combinant les connaissances en agrobiologie et écologie et les techniques de désherbage mécanique et chimique. Le RMT Florad a été créé en 2007 et renouvelé en 2011. Il associe la recherche publique (INRA UMR Agroécologie, AgroSup Dijon), les instituts et centres techniques (ACTA, ARVALIS Institut du Végétal, Terres Inovia, IFV, ITAB, ITB), les chambres d'agriculture (CA33), l'enseignement agricole (EPLEFPA Toulouse Auzerville, EPLEFPA Bordeaux Gironde, AgroSup Dijon) et les organismes coopératifs (IN VIVO).

Ce RMT est co-animé par l'ACTA (Alain RODRIGUEZ), l'INRA UMR Agroécologie (Sabrina GABA) et la Chambre d'Agriculture de la Gironde (Pascal GUILBAULT). Les objectifs généraux sont (i) d'explorer de nouveaux champs d'action et construire des projets d'actions de recherche et développement pour faire émerger et hiérarchiser les thématiques prioritaires pour apporter des réponses claires et utiles, (ii) de proposer son expertise et renforcer les liens avec les groupes de travail nationaux et régionaux et de diffuser les résultats : formation, transfert et diffusion d'information. Des résultats sont disponibles sur le site web : www.florad.org



INRA : G. Louviot

SOMMAIRE

Introduction.	5
1. Techniques d'implantation, systèmes de culture innovants, couverts végétaux : quelques expériences concrètes.	7
2. Quelles combinaisons de pratiques pour optimiser la maîtrise des adventices ?	10
3. Quelles modalités de mise en œuvre chez les agriculteurs et quel accompagnement ?	13
4. Aller plus loin : quelles pistes de recherche et de développement ?	16
Conclusion.	19
Principales références.	21

Maîtriser les adventices dans de nouveaux contextes de production

Leviers techniques et retours d'expériences pour une gestion durable

Synthèse du séminaire organisé par le GIS GC-HP2E et le RMT Florad le 15 décembre 2015

*"La vie est hérissée de ces épines,
et je n'y sais d'autre remède que
de cultiver son jardin."*

Voltaire

Introduction

Qui dit culture dit terre... et qui dit terre dit mauvaises herbes. Les plantes adventices, qui entrent en compétition pour les ressources avec les plantes cultivées, sont une préoccupation constante du jardinier comme du céréalier. Leur maîtrise est au cœur de l'enjeu de double performance, économique et environnementale, des exploitations agricoles. Au milieu du XX^e siècle, les pays développés se sont orientés vers des modèles de production reposant essentiellement sur l'emploi d'herbicides chimiques, efficaces et simples d'usage. Mais la donne est en train de changer. Une prise de conscience croissante s'opère dans les opinions publiques quant aux impacts des produits phytosanitaires sur la santé humaine et sur l'environnement, dans un contexte d'érosion généralisée de la biodiversité. La nécessité de réduire la pollution des sols et des eaux par les contaminants chimiques, notamment d'origine agricole, s'est imposée comme une attente majeure de nos sociétés. Elle s'est concrétisée par des évolutions réglementaires fortes. À l'échelle communautaire, la directive cadre sur l'eau (DCE) de 2000 a impulsé un effort sans précédent pour l'atteinte du "bon état" chimique et écologique de l'ensemble des masses d'eau. Cet objectif a aussi conduit à la directive de 2009 sur l'utilisation durable des pesticides, qui encadre l'usage des produits et débouche sur l'interdiction ou des restrictions pour les molécules les plus préoccupantes. En France, ces évolutions se sont traduites, à la suite du Grenelle de l'environnement, par la mise en œuvre en 2009 du plan Écophyto avec l'ambition de réduire de moitié, à l'horizon 2018, l'utilisation des pesticides – dont les herbicides représentent plus de 40 % sur le territoire national. Ce plan est à l'origine d'un ensemble de dispositifs incitatifs ou contraignants. La protection des zones de captage d'eau potable fait l'objet d'un effort spécifique, avec notamment de fortes restrictions sur les intrants chimiques.

En parallèle, la remise en question du recours systématique au labour et le développement des techniques culturales simplifiées, souvent plus économes en énergie et plus respectueuses des sols, placent les agriculteurs face à de nouveaux défis pour le contrôle de l'enherbement, notamment le développement de plantes vivaces et des modifications de composition de la flore.

Dans ces contextes, divers leviers alternatifs peuvent contribuer à une gestion des adventices moins dépendante des herbicides : techniques d'implantation, décalage des dates de semis, mise en place de couverts, diversification des rotations. Le recours aux leviers basés sur la valorisation de la biodiversité adventice et des services qu'elle procure (pollinisation, régulation biologique) est également encouragé, en lien avec le plan d'actions global pour l'agroécologie du Ministère chargé de l'Agriculture (« Produisons autrement »). Face à ce faisceau de trajectoires possibles, les acteurs des grandes cultures attendent des éléments concrets sur les combinaisons de pratiques offrant les meilleurs compromis entre contrôle de l'enherbement, performances économique et environnementale et conformité réglementaire, en tenant compte des contraintes de chaque exploitation.

En réponse, de nombreux essais sont menés en France dans le cadre de fermes expérimentales ou chez des agriculteurs. Les résultats de certains de ces travaux ont été présentés et mis en débat lors du séminaire organisé par le GIS GC-HP2E et le RMT Florad, contribuant à amorcer une dynamique d'échange et de partage des pratiques au niveau national. Les pages qui suivent proposent une courte synthèse de ces contributions et des questions qu'elles ont soulevées, au fil de quatre chapitres consacrés respectivement à différents leviers étudiés pour perturber les adventices, aux combinaisons de pratiques susceptibles d'en optimiser le contrôle, aux modalités de mise en œuvre et d'accompagnement chez les agriculteurs et enfin aux pistes de recherche et de développement à creuser pour demain.

Les actes complets du séminaire sont disponibles en ligne :
www.gchp2e.fr et www.florad.org



Techniques d'implantation, systèmes de culture innovants, couverts végétaux :

quelques expériences concrètes



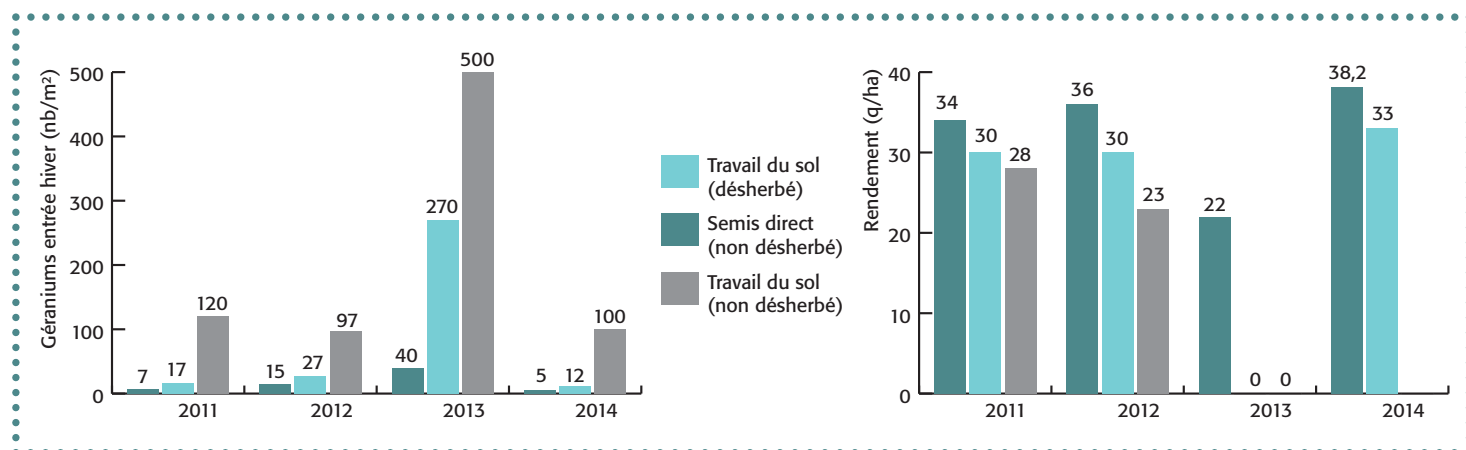
La réduction de la dépendance aux herbicides, dans des contextes de moindre travail du sol et d'utilisation croissante de couverts pouvant modifier le stock semencier, implique d'agir sur un ensemble de leviers pour perturber le développement des adventices – des techniques d'implantation à l'ajustement du système de culture. Ce premier chapitre livre quelques résultats obtenus dans différents contextes, qui constituent autant de repères utiles pour guider les acteurs, au cas par cas, dans leurs changements de stratégie.

Techniques d'implantation et couverts associés : des tentatives concluantes pour le colza

Des travaux menés par Terres Inovia, en expérimentation ou chez des agriculteurs, ont permis de quantifier l'efficacité de plusieurs de ces leviers en contexte de rotation courte colza/blé/orge, sur des sols argilocalcaires superficiels du Centre de la France à la Lorraine, en grande partie non labourés et marqués par une forte pression adventice (géraniums, gaillet, vulpin, ray-grass...). Une partie des essais visait à améliorer la dynamique de croissance du colza par des pratiques d'implantation innovantes. Parmi les pratiques testées, le **semis direct** réalisé au semoir à disque et à vitesse réduite (moins de 7 km/h) **se révèle très efficace dans cette situation particulière** (inversion de flore, carence d'herbicides efficaces, espèces à stock peu dormant) : il a notamment permis de réduire de 85 à 95 % les levées de géranium – contre 46 à 88 % pour les herbicides sur sol labouré (voir figure 1). En complément, **l'association avec certaines espèces légumineuses gélives** peut limiter le développement des adventices levées. Combinées au sein d'un itinéraire technique innovant (semis direct associé aux légumineuses, absence ou doses réduites de désherbage anti-dicotylédones, fertilisation réduite de 30 %) de 2011 à 2014, ces pratiques ont permis de sécuriser les rendements, entraînant même parfois des gains significatifs par rapport à l'itinéraire classique incluant travail du sol et désherbage à dose pleine. D'après les résultats, la couverture des adventices est plus faible en colza associé qu'en colza seul, cet effet est marqué si la biomasse fraîche totale (colza+couvert) est supérieure à 1,5 kg/m² en entrée hiver, ce qui est rarement obtenu avec un colza seul.

Figure 1 : Résultats sur la levée de géranium et le rendement en colza, en labour et en semis direct

(Source : Terres Inovia)



Dans l'optique de concurrencer les adventices, une autre voie envisageable est celle des **cultures associées**. Par exemple, pour le lupin d'hiver, des essais suivis par l'ESA d'Angers sur neuf sites du grand Ouest ont montré l'intérêt de son association avec le triticales : le rendement en lupin était peu impacté par rapport à la culture pure, tandis que la biomasse des adventices à floraison et à maturité était fortement réduite par la présence du triticales (63 % et 56 % de réduction, respectivement).

Évolution des systèmes de culture : pas de solution clés en mains

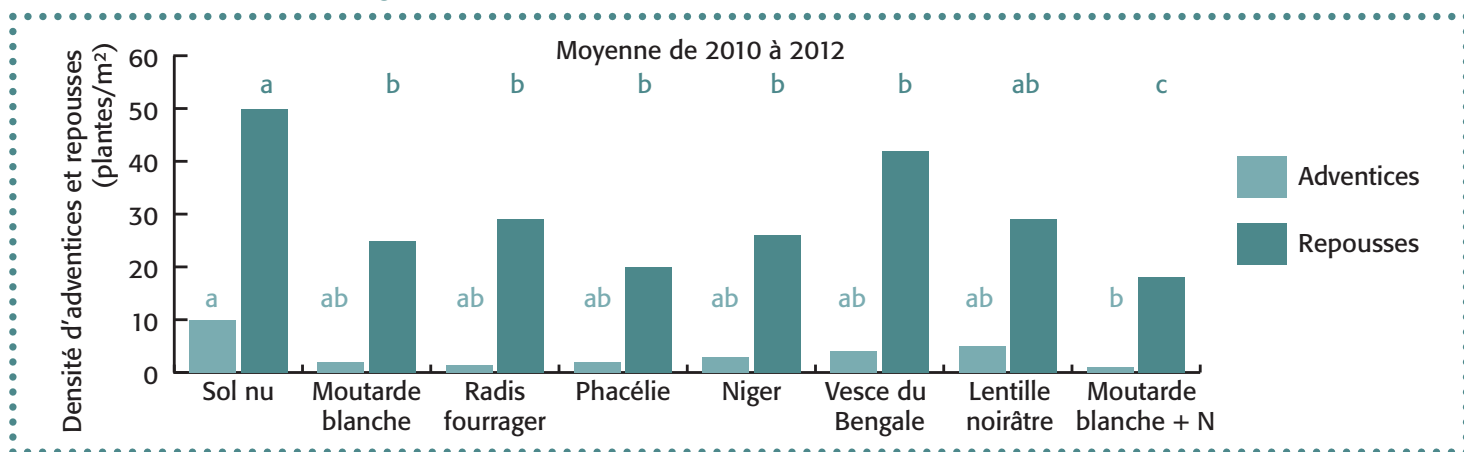
À plus long terme, l'objectif de perturber durablement les adventices pour réduire les doses d'herbicides passe par une évolution du système de culture. Toujours en contexte argilo-calcaire, la rotation de référence colza/blé/orge a été comparée par Terres Inovia à une rotation pois d'hiver + couvert d'orge/colza associé/blé/orge/tournesol/blé. Le bilan est contrasté. Les niveaux de rendement et de marge ont été maintenus et l'objectif de réduction de 30 % de la fertilisation azotée atteint. En revanche, la réduction de l'usage des phytosanitaires n'a été que de 25 % (contre 50 % escomptés), avec même une légère augmentation de l'Indice de Fréquence de Traitement (IFT) pour les herbicides totaux, la succession pois/colza augmentant les risques adventices dans ce contexte. Ce constat rappelle l'absence de solutions clés en mains en matière de systèmes de culture : ceux-ci doivent avant tout **s'adapter au contexte pédoclimatique ainsi qu'au contexte de production**. Une expérimentation au long cours, lancée dans le cadre du projet inter-instituts SYPPRE, donnera d'autres éléments pour la re-conception de systèmes en plus forte rupture, expérimentant pendant 20 années la diversification des espèces, des périodes de semis et la succession de deux cultures de printemps.

Couverts d'interculture : effet positif sur les repousses, moins net sur les adventices

La mise en œuvre de couverts d'interculture se développe en France, à la fois pour des raisons agronomiques et de conformité réglementaire (directive Nitrates). Pour préciser les impacts de ces cultures intermédiaires sur les adventices et les repousses de culture, Arvalis a mené deux essais longue durée à Boigneville (91). Le premier, conduit de 2003 à 2013, visait à comparer les effets sur la flore adventice et les repousses de culture, en interculture et dans la culture suivante, de différentes espèces ou mélanges d'espèces de couvert semés à la mi-août, par rapport à un sol témoin maintenu sans couvert par désherbage chimique. Le second essai, mis en place en 1992, portait sur l'étude des effets du couvert sur la flore adventice et les repousses de culture, à l'interculture et en culture, en prenant en compte différentes modalités de travail du sol et de destruction du couvert. Les résultats sont variables selon les années. En moyenne, les couverts permettent toutefois une nette **réduction des repousses de culture à l'interculture**, quelle que soit l'espèce implantée (figure 2).

Figure 2 : Effet moyen de différents couverts sur la densité d'adventices et les repousses à l'interculture

(Source : Arvalis-Institut du végétal)



En revanche, si la plupart des couverts ont réduit la densité d'adventices par rapport au sol nu (à l'exception d'une importante levée de séneçon dans le second essai, en semis direct), seule la moutarde fertilisée a eu un effet significatif. Les densités d'adventices à l'interculture apparaissent également plus élevées dans les itinéraires en semis direct que dans le cas du labour. De manière générale, la biomasse du couvert s'avère un facteur prépondérant pour limiter la flore adventice et les repousses de culture. Dernier enseignement : **dans la culture suivante, aucun effet significatif des couverts sur l'enherbement** n'a été mis en évidence, malgré une plus faible capacité d'intervention à l'interculture pour éviter les grenaisons.

Au final, l'efficacité des couverts végétaux à contrôler les repousses de culture est plutôt satisfaisante. Concernant la flore adventice, l'effet est beaucoup moins net et doit être évalué et comparé aux pratiques agronomiques traditionnelles (faux semis, déstockage).

À noter enfin que, dans certains cas, **l'insertion de prairies temporaires** peut constituer une option pertinente pour la régulation qualitative et quantitative de la flore adventice. Des essais menés sur le dispositif expérimental SOERE-ACBB à Lusignan ont permis de confirmer leur efficacité et de préciser les mécanismes à l'œuvre – compétition directe avec le couvert prairial ou, à plus long terme, modification du stock semencier. Les résultats suggèrent cependant la nécessité de maintenir la prairie en place au moins trois années avant d'observer des modifications dans le stock semencier.



Quelles combinaisons de pratiques pour optimiser la maîtrise des adventices ?

L'efficacité d'une stratégie de gestion des adventices est la résultante d'interactions complexes entre de nombreux déterminants : techniques et dates d'implantation, variétés, semis associés, succession culturale... Pris séparément, ces différents leviers alternatifs, à l'image de ceux évoqués dans la section précédente, n'ont souvent qu'un impact limité. Dans leur quête d'un contrôle durable de l'enherbement, tout l'enjeu pour les agriculteurs est alors de savoir quelles combinaisons de pratiques offriront la meilleure efficacité. Ce chapitre rassemble plusieurs contributions présentées dans cet objectif lors du séminaire.

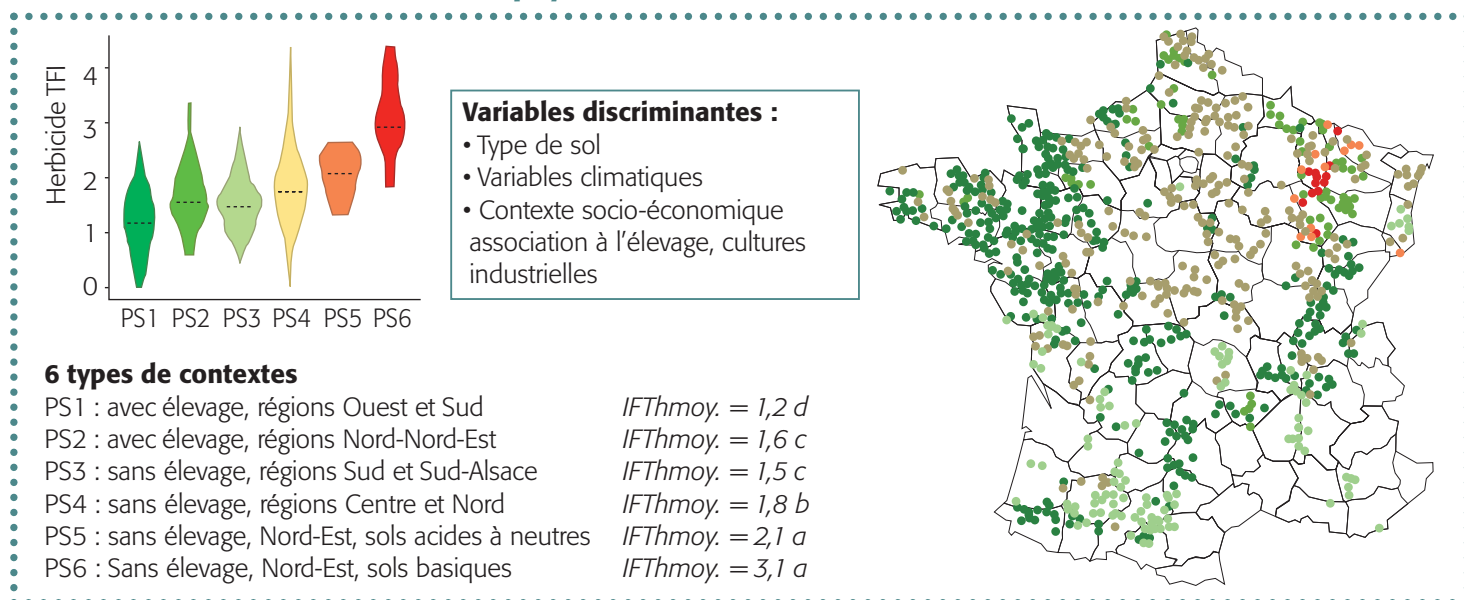
En TCSL, plus d'herbicides, moins d'autres intrants

Les combinaisons "gagnantes" dépendent bien sûr du contexte pédoclimatique et de l'historique de chaque exploitation – soit, en France, une très grande variété de situations. L'analyse des bases de données disponibles peut contribuer à dégager des lignes directrices dans des contextes-types. Pour étudier l'effet sur la gestion des adventices de la réduction du travail du sol, le groupe de travail du GIS GC-HP2E sur la gestion durable des sols s'est ainsi appuyé sur les résultats d'une enquête (Agreste, 2011) portant sur 20 827 parcelles, réparties en 52 groupes selon leur contexte agro-pédoclimatique. L'analyse statistique confirme que les différences de gestion des adventices entre labour et TCSL concernent surtout l'usage d'herbicides : celui-ci est globalement plus élevé en TCSL. En revanche on observe un usage moindre d'autres produits phytosanitaires (fongicides, insecticides).

Dans chaque situation de production, des stratégies agronomiques à privilégier

Une approche du même type a été conduite (InVivo Agrosolutions-INRA) à partir des suivis du réseau de fermes DEPHY-Ecophyto – soit 1000 systèmes de culture différents. Ceux-ci ont été regroupés en grands types de situation de production (SP), selon le contexte pédoclimatique et la présence/absence d'élevage. Pour chaque SP, une typologie des stratégies agronomiques mises en œuvre a été établie (figure 3).

Figure 3 : Répartition de la consommation d'herbicides selon les types de contextes dans le réseau de ferme DEPHY-Ecophyto



Une analyse statistique a été menée pour identifier les combinaisons de pratiques les plus économes en herbicides sur la base des indices de fréquence de traitement (IFT), à l'échelle des systèmes de culture (six types de situations de production, cf. figure 3), sur les cultures de blé tendre d'hiver (cinq types) et de maïs (deux types). Au sein de chaque situation, des stratégies plus économes ont pu être identifiées. Elles incluent généralement des **successions culturales plus diversifiées**, en termes d'espèces introduites mais aussi de périodes de semis (par exemple l'alternance de cultures d'hiver et d'été) et un recours au labour à l'échelle du système de culture. Le désherbage mécanique ou localisé et les faux semis constituent des leviers plus ponctuels.

À Épieds (27), labour et allongement de rotation divisent par huit la densité

Pour affiner l'analyse dans un type de situation donné, la multiplication de travaux *in situ* apparaît incontournable. C'était l'objet d'un essai mené entre 2006 et 2014 par Arvalis, sur le limon caillouteux superficiel du site d'Épieds (27). L'expérience visait à comparer les effets de différents types de travail du sol et de différentes dates de semis sur la flore adventice et ce, dans trois rotations : monoculture de blé ; colza/blé/blé ; colza/blé/protéagineux de printemps/blé. Des inventaires de flore ont été réalisés dans chaque parcelle, où une zone non traitée en herbicide servait de référence. Cette approche a livré des comparaisons chiffrées entre les différentes conduites, en termes de gestion de la flore, de répartition du temps de travail, de consommation de carburant et de marge. Il en ressort notamment que la combinaison du labour et de l'allongement de la rotation permet de diviser en moyenne par huit la densité d'adventices par rapport à la situation de référence (colza/blé/blé en non labour). L'ajout d'un troisième levier, la date de semis retardée, n'avait dans ce cas que peu d'effet. De manière générale, **l'effet du labour est d'autant plus important que le système combine peu de leviers**. Mais la combinaison de leviers agronomiques s'avère toujours favorable à la maîtrise des adventices. Ainsi le décalage de la date de semis permet de diviser par trois l'enherbement dans les conduites en non labour ; l'effet de l'allongement de la rotation s'y exprime aussi davantage.

Maïs en contexte “sud” : quatre itinéraires au banc d'essai

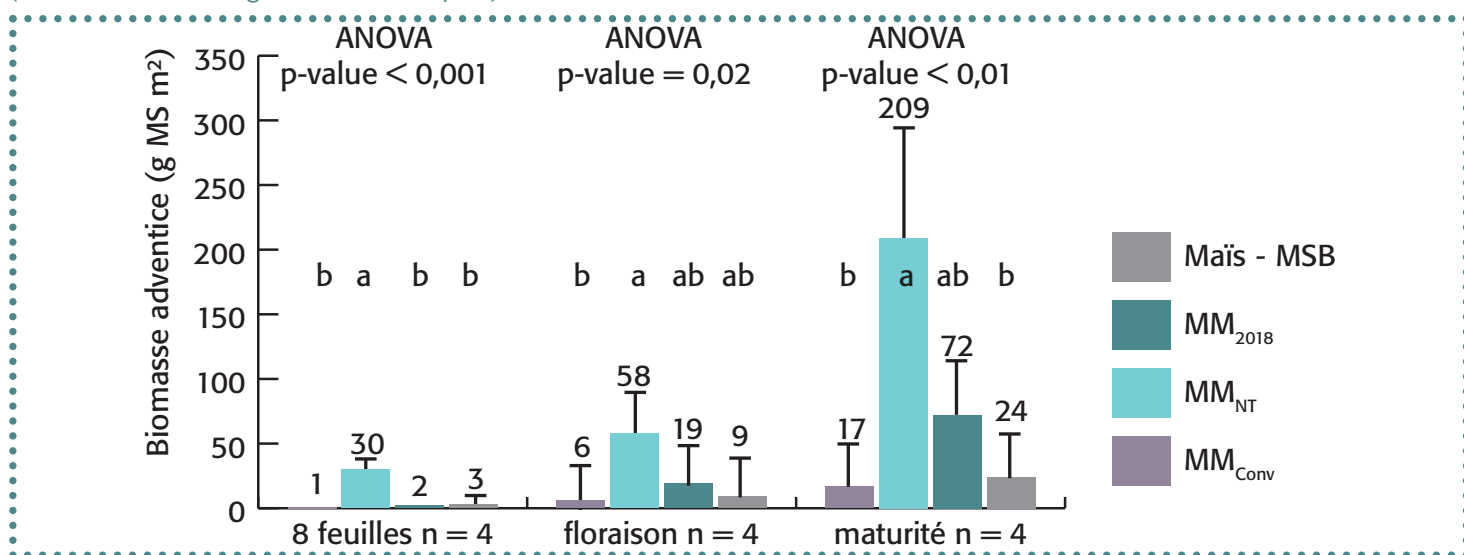
Une autre étude, menée depuis 2011 par l'École d'ingénieurs de Purpan, s'intéresse aux monocultures de maïs du Sud-Ouest de la France – dans lesquelles les herbicides représentent 78 % de l'IFT global. Pour identifier des voies de réduction de cette dépendance, des expérimentations *in situ* comparent les densités d'infestation par les adventices et les rendements dans quatre systèmes de culture distincts :

- un itinéraire MM_{conv} "conventionnel" (labour annuel, désherbage chimique, sol nu en interculture, variété tardive) ;
- un itinéraire MM₂₀₁₈ à bas intrants (labour annuel, désherbage mixte ou mécanique, couvert de ray-grass et trèfle, variété semi-précoce) ;
- un itinéraire en semis direct MM_{NT} cherchant à réduire le temps de travail de 50 %, la consommation d'énergie et la lixiviation d'intrants (désherbage chimique, couvert d'interculture, variété semi-précoce) ;
- une rotation maïs/soja/blé tendre (MSB) visant à limiter les pics de travail, l'IFT, l'irrigation et la lixiviation.

Chaque année, des relevés d'infestation sont réalisés autour du stade 6-8 feuilles du maïs, à la floraison et à maturité.

Figure 4 : Évolution comparée de la biomasse adventice dans les quatre itinéraires de culture du maïs

(Source : Ecole d'ingénieurs de Purpan)



Les résultats communiqués en termes de biomasse adventice (figure 4), de rendement et d'IFT livrent plusieurs conclusions. Sans surprise, l'itinéraire "conventionnel" est le choix de la stabilité, combinant rendement intéressant (11,3 t/ha) et gestion efficace de la flore. **Parmi les systèmes alternatifs, l'itinéraire à bas intrants est celui qui affiche le meilleur compromis** rendement (10,6 t/ha) et réduction de l'IFT (réduction de 68% par rapport à l'itinéraire conventionnel). La rotation maïs/soja/blé (9,7 t/ha en maïs) est quant à elle la plus efficace pour la gestion des adventices. Enfin, l'itinéraire en semis direct (8,2 t/ha), marqué par une explosion des graminées à maturité, met en évidence les difficultés de ce type d'itinéraire en monoculture de maïs.

Au final, les travaux présentés dans cette section confirment la possibilité de trouver, dans toutes les situations de production, des stratégies agronomiques permettant de réduire l'usage d'herbicides par la combinaison de plusieurs leviers. D'autres initiatives y contribueront, à l'image des essais menés dans le cadre du réseau expérimental "zéro pesticides" RésOPest. Mais le défi demeure entier : les approches statistiques dégagent des orientations générales dans des contextes-types, tandis que les essais *in situ* livrent des enseignements plus concrets mais circonscrits à des situations données. La multiplication de ces approches, complétées par un recours à la modélisation (voir chapitre 4), devrait permettre d'aller plus loin pour **passer de références locales à des principes transposables** ailleurs – c'est-à-dire utilisables par l'agriculteur, confronté à ses contraintes propres et à la réalité de son exploitation.

Quelles modalités de mise en œuvre chez les agriculteurs et quel accompagnement ?

3

En parallèle à l'apport de solutions techniques, objet des chapitres précédents, l'autre grand défi concerne les modalités de mise en œuvre de ces éléments par les agriculteurs dans leur propre contexte d'exploitation – qu'il s'agisse de sortir d'une impasse ou d'évoluer par choix vers d'autres schémas de gestion des adventices. Pour ces entrepreneurs, opérant sur des marchés très compétitifs, un changement de système est un processus long (plusieurs années) et non exempt de risques, en termes de productivité et donc de revenus. Ce troisième chapitre, appuyé sur des retours d'expériences, livre quelques réflexions et interrogations exprimées lors du séminaire sur l'accompagnement nécessaire au changement de pratiques.

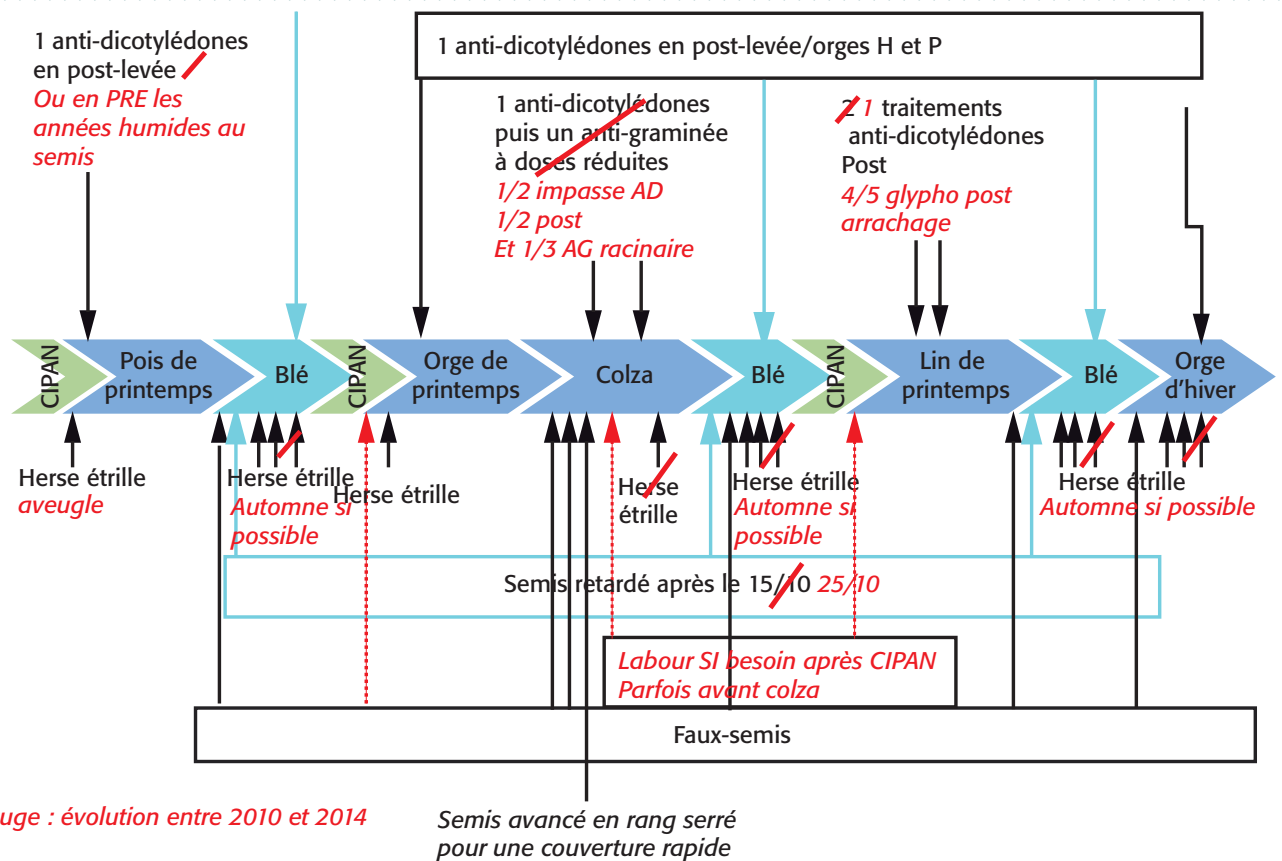
Se nourrir de l'expérience des autres : une mise en réseau indispensable

Dans la transition vers un nouveau système de culture, le travail en groupe d'agriculteurs constitue toujours un puissant facteur de succès : il permet notamment l'acquisition de méthodes et de concepts nouveaux, et éclaire la prise de décision pour sa propre exploitation à la lueur de ce qui se passe chez les voisins. Cette nécessaire émulation peut aujourd'hui s'appuyer sur des relais comme le réseau DEPHY Fermes, pierre angulaire du plan Ecophyto, ou des structures de coopération comme les APAD (associations pour une agriculture durable). L'expérience du groupe DEPHY 27 a été présentée lors du séminaire. Celui-ci rassemble depuis une décennie des agriculteurs développant des systèmes de culture très divers – betterave, chanvre, maïs notamment, du labour fréquent aux TCSL. Au lancement du groupe, tous partageaient cependant une même ambition : être capable de désherber avec une seule dose pleine d'herbicide par an. Saison après saison, cet objectif a pu s'appuyer sur **une méthodologie commune** autour des concepts de système de culture puis de "schéma décisionnel de gestion des adventices". Cette formalisation a permis de structurer les échanges sur les combinaisons de leviers à effet partiel, instaurant une dynamique de co-conception. Elle a permis des évolutions maîtrisées dans les systèmes de culture, dont plusieurs grands types ont été identifiés au sein du groupe : depuis les systèmes avec prairies temporaires et labour assez fréquent (robustes et sobres en chimie), jusqu'aux systèmes peu diversifiés avec peu ou pas de labour – les plus tendus. Pour chaque type, des **ajustements ont été conçus collectivement** et mis en œuvre entre 2010 et 2014 (voir figure 5 - p.14).



INRA : A-H Cain

Figure 5 : Synoptique des évolutions apportées à un type de systèmes de culture dans le cadre du groupe DEPHY 27 (Source : CA27)



À l'issue de ces évolutions, la maîtrise des adventices est jugée globalement satisfaisante, avec **des IFT bien en deçà des références régionales** – sauf pour quelques systèmes. Enfin, de manière plus qualitative, le travail en groupe a favorisé chez les agriculteurs une **prise de recul par rapport aux "normes" du métier**, et à leur propre perception de ce qu'est une parcelle "sale". Il leur a finalement permis de repenser leur système de culture dans une conception plus souple, évolutive et résiliente.

Des trajectoires individuelles à encourager...

Indépendamment des incitations ou solutions existantes, le premier moteur de changement réside cependant dans la stratégie de l'agriculteur lui-même, ses aspirations et sa conception du métier. Un exemple de transition volontariste a été donné lors du séminaire par Philippe Mouraux, céréalier lorrain engagé au sein de l'APAD. À partir d'une situation d'impasse en techniques culturales simplifiées, avec résistance de vulpin et de brome, celui-ci a relaté dix années de transition vers un système en semis direct sous couvert. Il ressort de ce témoignage le caractère non linéaire de la transition : un démarrage difficile, l'apparition de problèmes inopinés (et de nouvelles adventices) et leur résolution empirique, dans une **démarche d'ajustement permanent**. Le système actuel a permis un retour de la productivité et une gestion durable des adventices, même si l'IFT global n'a que peu baissé. Il combine notamment une protection des semences par insecticide, du chaulage de surface, des couverts associant cinq ou six espèces présentes localement, un broyage des chaumes ainsi que divers leviers agroécologiques pour la lutte contre les campagnols (haies et nichoirs à hiboux).

...un accompagnement technique et financier à construire

Cette expérience réussie, comme d'autres, est le produit d'une motivation individuelle et d'une maturation collective, dans le cadre ici du réseau de l'APAD. Pour favoriser la multiplication de ce type de trajectoires, la mise en place de dispositifs d'accompagnement ciblés apparaît essentielle. La mise à disposition de documents et d'outils d'aide à la décision (guide ECOHERBI développé par le RMT Florad, Infloweb, R-sim, Odera...) doit s'appuyer sur une pérennisation et **un renforcement des réseaux et structures-relais** déjà évoqués pour favoriser l'appropriation des solutions. Ces réseaux doivent par ailleurs être dotés d'outils standardisés permettant une lecture comparée des résultats obtenus ici et là – à l'image des protocoles d'observation de la pression adventice développés dans le cadre du projet Casimir pour les réseaux DEPHY.

L'évolution vers une gestion plus territoriale des adventices, en particulier la restauration de **liens plus étroits entre exploitations de grande culture et d'élevage**, apparaît également souhaitable. Une diversification des acteurs au sein des coopératives pourrait y contribuer. Les GIEE (groupements d'intérêt économique et environnemental), regroupant sur un territoire des acteurs engagés sur une thématique donnée, constituent un autre maillon pertinent pour soutenir cette évolution : ils pourraient faire l'objet d'un accompagnement des institutions dans cette optique.

Enfin, l'accompagnement est aussi nécessaire sur le plan économique. Des données sont attendues sur **l'analyse de risque lié au changement de système**. Elles permettraient d'objectiver le processus et de dimensionner des politiques de financement pour l'accompagnement du risque – à l'image des dispositifs existant pour les transitions vers l'agriculture biologique.

INRA : C. Maitre



4

Aller plus loin : quelles pistes de recherche et de développement ?

La dernière partie du séminaire a été consacrée à l'identification de nouveaux leviers pour étendre les possibilités de gestion intégrée de la flore et aux questions que ces approches, souvent en rupture avec les conceptions existantes, posent à la recherche. Alimentée par une expertise transverse et la présentation de résultats récents, reposant notamment sur le concept d'agroécologie, cette session a donné lieu à un débat fécond lors de la table ronde finale.

Cinq grandes voies d'action sur la flore, des pistes à explorer dans chacune

Enjeu vital pour l'avenir des grandes cultures, la recherche de réponses nouvelles à la problématique des adventices occasionne, dans la littérature comme sur les parcelles, un foisonnement de travaux, de pistes et d'idées. Pour dresser un panorama ordonné de ces différentes approches, Xavier Reboud (INRA Dijon) a proposé de les inscrire dans un cadre conceptuel original prenant pour point d'entrée cinq grandes voies de gestion de la flore adventice. Cette typologie (voir encadré 1) fournit en particulier une grille d'analyse pertinente pour appréhender les 17 leviers identifiés comme potentiellement mobilisables en soutien à la démarche Ecophyto V2.

Encadré 1 : Répartition en cinq grandes voies de gestion de la flore des 17 leviers potentiels proposés en soutien à la démarche Ecophyto V2

A – Occuper les niches pour ne pas laisser d'espace vacant

- couvertures végétales semées qui limitent les germinations
- variétés à fort pouvoir couvrant
- itinéraire de conduite pouvant aboutir à la sélection d'un couvert d'adventices ayant un moindre impact

B – S'opposer au développement des plantes levées

- désherbage mécanique
- pratique du faux semis pour faire lever les semences dans l'horizon superficiel
- biodisponibilité accrue des pesticides
- développement des bioherbicides
- utilisation dédiée à la gestion de la flore adventice de l'interculture

C – Épuiser le stock et éviter sa réalimentation

- actions sur le stock dormant dans le sol
- introduction de la luzerne ou autre espèce couvrante à conduite pluriannuelle en prairie
- récupérateur ou broyeur de menues pailles
- pratique de l'écimage
- susciter la fonte de semis

D – Présenter une situation inédite hors des plages d'adaptation des espèces à éviter

- diversification des rotations du point de vue des adventices et des autres bio-agresseurs
- introduction de conduites qui cassent la monotonie (mulch, phase de solarisation, culture à effet allélopathique...)

E – Optimiser les pratiques : couplage explicite d'une détection à une action ciblée

- agriculture de précision (drones, caméras) visant à accroître l'efficacité de désherbage
- robots désherbeurs ; encore à l'état de prototypes

Hiérarchiser l'effort R&D : l'approche par "principes biologiques mobilisés"

Dans ce cadre, l'efficacité potentielle d'un levier pour une gestion intégrée de la flore peut être évaluée avec l'approche par "principes biologiques mobilisés". Elle postule

que l'introduction d'un **nouveau levier aura un effet d'autant plus fort et durable que celui-ci influe sur différentes voies** de gestion – par exemple, l'introduction d'un couvert s'inscrit dans la voie B (empêcher le développement des plantes levées), mais aussi dans une moindre mesure dans les voies A, C et D, ce qui en fait un levier potentiellement très influent. *A contrario*, la **gestion des graines d'adventices pendant la récolte**, présentée par certains auteurs (Walsh, Newman & Powles, 2013) comme très prometteuse, mobilise essentiellement une seule voie de gestion : la voie C. Cela pourrait suggérer un **risque de contournement** de ce levier par la flore, au fil du temps. À l'arrivée cette grille d'analyse fournit une base perfectible mais pertinente pour raisonner la durabilité des différents leviers envisagés. D'autres critères doivent être intégrés à la réflexion, comme le compromis entre faisabilité et efficacité ou le niveau d'adaptabilité aux systèmes existants.

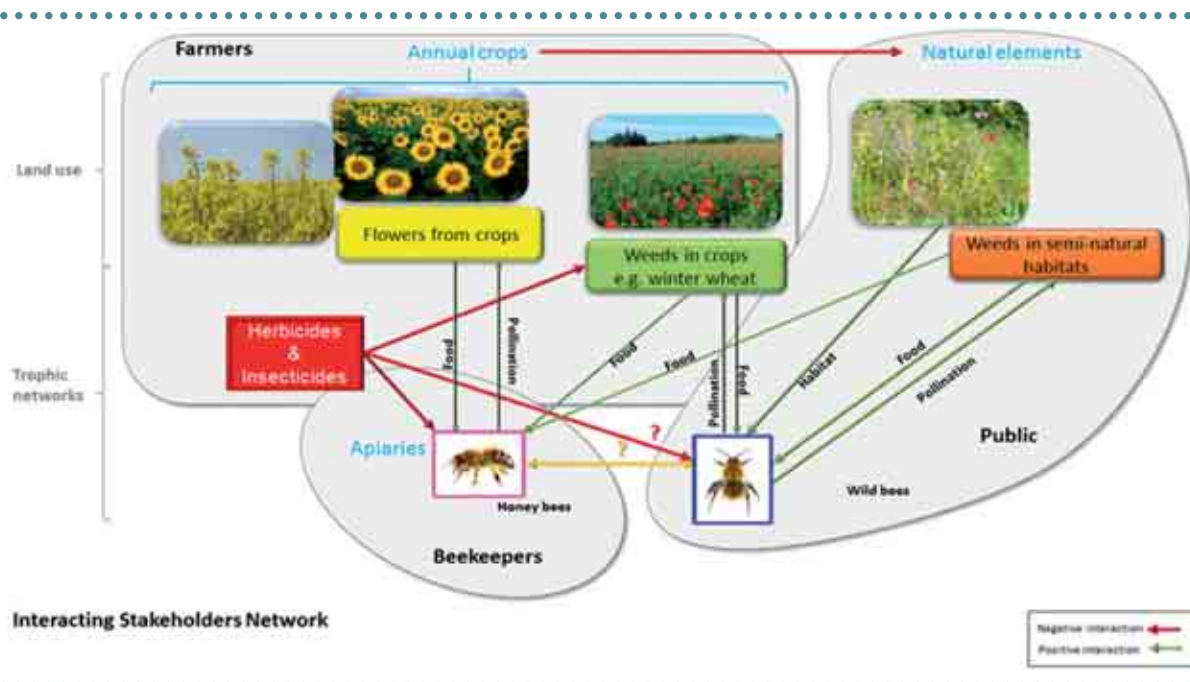
Agroécologie et services écosystémiques : une voie alternative pour concevoir des systèmes à bas intrants

En complément des leviers technologiques, une autre voie basée sur les principes de l'agroécologie pourrait constituer une part importante des solutions de demain. Cette voie alternative repose sur la valorisation de la biodiversité, notamment adventice, en postulant que les **services écosystémiques** qu'elle supporte – régulations biologiques, pollinisation – pourraient compenser la diminution de l'usage d'intrants chimiques, en particulier des pesticides. Des résultats récents ont permis d'alimenter le débat lors du séminaire. En particulier, le rôle des adventices dans le maintien de la biodiversité des agroécosystèmes, souvent perçu comme une contrainte dans la conception des systèmes de culture, a au contraire été proposé (S. Gaba, INRA Dijon) comme un levier pour répondre aux enjeux du Plan Ecophyto.

Ce postulat, posé dans le projet ANR AGROBIOSE, ouvre une réflexion innovante sur la notion de **biodiversité adventice** et, en particulier, sur le service de pollinisation associé (figure 6) dans une optique de gestion durable de la flore à l'échelle d'un territoire agricole.

Figure 6 : Rôle inattendu des plantes adventices dans la production agricole de colza et de tournesol au travers des interactions complexes entre adventices-cultures-abeilles domestiques et sauvages.

Source : Bretagnolle & Gaba (2015), *Agronomy for Sustainable Development*





INRA : G. Louvriot

Ceci pose cependant, inévitablement, la question de l'effet des adventices sur la production agricole. Une analyse empirique a été menée par l'INRA Dijon et le CNRS de Chizé pour analyser la relation entre l'usage d'herbicides, l'abondance et la richesse de la flore et la production agricole dans 150 parcelles de 30 agriculteurs de la Zone Atelier 'Plaine & Val de Sèvre', en 2013 et 2014 (ZA-PVS ; www.za.plainevalsevre.cnrs.fr/). Cette analyse met en évidence la difficulté à obtenir des corrélations claires entre l'intensité de l'usage des herbicides et l'abondance ou la richesse adventice. Les effets des adventices sur la production agricole ainsi que l'effet des herbicides pour contrôler la flore restent donc encore à approfondir, notamment avec des expérimentations de longue durée pour prendre en compte la dynamique de la banque de graines.

Plus largement, l'approche agroécologique ouvre un vaste champ de recherches pour la gestion des adventices. D'autres contributions, lors du séminaire, ont apporté des éléments novateurs pour mieux appréhender les effets sur la flore de la **présence d'arbres en grande culture** (agroforesterie), ou encore la **prédation par les carabes** des graines d'adventices. La recherche des modes d'intégration et de combinaison de tels leviers dans des systèmes économiquement performants sera à n'en pas douter l'un des grands défis de la R&D agronomique de demain.

Résistances, modélisation : plus que jamais d'actualité

En complément à ces approches encore assez prospectives, les intervenants de la table ronde ont rappelé l'importance de poursuivre l'effort de R&D pour améliorer et maintenir l'efficacité des moyens actuels de gestion des adventices. Les phénomènes de **résistances aux herbicides**, peu évoqués par les contributions plénières mais récurrents au cours des discussions, restent bien sûr un défi central pour la recherche en agrochimie : l'enjeu est, plus que jamais, d'optimiser l'efficacité des doses appliquées et de mettre en œuvre des stratégies qui préviennent ces phénomènes (en réduisant notamment la pression de sélection). Dans ce cadre, la mise à disposition de tests de résistance permettrait d'éviter la poursuite de traitements devenus localement inutiles.

D'autres pistes de recherche majeures ont encore été soulignées lors du séminaire. Dans les dix prochaines années, des avancées importantes sont attendues dans le domaine de l'**agriculture de précision**, de l'autoguidage des bineuses par caméras et GPS à l'utilisation de l'imagerie pour la localisation et l'identification des adventices. L'émergence de ces outils devra également faire l'objet d'un accompagnement par la R&D, pour en optimiser le potentiel et l'intégration dans les systèmes de production.

En parallèle, les **approches en modélisation** constitueront un apport précieux pour prédire les effets des combinaisons des leviers mobilisables, aujourd'hui et demain, sur la gestion de la flore adventice dans des contextes d'exploitation variés. C'est notamment l'ambition du projet ANR CoSAC (Conception de Stratégies durables de gestion des Adventices dans un contexte de Changement), conçu et monté par le GIS GC-HP2E, lancé en 2015 et coordonné par l'INRA.

Enfin, le développement des **connaissances sur la biologie des espèces adventices** reste particulièrement nécessaire dans une approche de protection intégrée : pour perturber efficacement le cycle d'une adventice, il faut bien connaître ses spécificités. L'utilisation de couverts ou de plantes associées à la culture principale relève d'ailleurs du paradoxe et ouvre la réflexion sur l'utilisation des espèces peu compétitives pour couvrir le sol. La flore constitue un système inertiel – du fait du stock semencier – mais aussi plastique – sensible aux évolutions de pratiques : sa gestion relève d'une approche dynamique et évaluer les évolutions de pratiques demande une profondeur temporelle.

Conclusion

Les contributions présentées au cours de ces Rencontres 2015, par leur richesse et leur diversité, témoignent de la dynamique qui a été engagée par les pouvoirs publics, la recherche, les centres techniques et les acteurs des grandes cultures pour la conception de stratégies durables en matière de gestion des adventices. À l'ère des techniques culturales simplifiées et du plan Ecophyto, les principales options techniques pouvant contribuer dès aujourd'hui à réduire la dépendance des systèmes aux herbicides sont désormais bien identifiées. De nombreux essais agronomiques, réalisés souvent chez des exploitants, ont apporté des éléments nouveaux sur leur efficacité respective pour des cultures, des historiques d'exploitation et des contextes pédoclimatiques donnés. Ces travaux visent de plus en plus à préciser les effets combinés des leviers ; ils prennent davantage en compte l'évolution des systèmes de culture dans le long terme et les effets inertiels liés au stock semencier. Un ensemble de pistes de recherche et développement a été identifié pour élargir, demain, l'éventail des options disponibles, notamment par un recours accru à l'agriculture de précision et aux principes de l'agroécologie, du biocontrôle à l'agroforesterie.

Mais chaque parcelle est différente et beaucoup reste à faire pour améliorer la transmission de ces acquis à ceux qui sont les seuls à pouvoir les traduire en actes sur le terrain, les agriculteurs. Dans cet objectif, le premier grand axe de travail concerne plus que jamais l'exploitation des références obtenues localement (sur une flore, un type de sol, un type de système de culture) pour bâtir des principes opérationnels et transposables à d'autres conditions. Outre la poursuite et la multiplication des essais dans des contextes variés, la réussite de cette entreprise passera par la modélisation et l'analyse statistique pour caractériser la sensibilité de ces leviers aux différents paramètres des situations de production, dans une optique d'aide à la décision.

Le second défi majeur reste celui de la mise en œuvre du changement par les agriculteurs, et de l'accompagnement qu'il implique, en cohérence avec son projet stratégique d'exploitation. Intégrer cette diversité des stratégies d'exploitation est un défi pour la R&D agricole. Les retours d'expériences et les échanges au cours du séminaire ont permis d'en dégager quelques composantes. L'intégration de l'agriculteur au sein de groupes de travail entre pairs, à l'échelle de son territoire, apparaît un facteur-clé de réussite : elle permet l'apport d'outils et de méthodes communes, l'ajustement graduel



des itinéraires techniques, mais aussi une prise de recul parfois salutaire quant à ses propres pratiques et habitudes. Ces constats confirment la nécessité de pérenniser et de renforcer les réseaux et structures-relais existants, à l'image des réseaux DEPHY. En parallèle à cet accompagnement technique, il reste cependant à créer ou à développer des outils d'analyse de risque pour sécuriser les changements de système sur le plan économique. Cette analyse permettrait de créer des dispositifs d'aide spécifique au changement de systèmes ou de pratiques, ou de renforcer ceux qui existent déjà (Plan Végétal pour l'Environnement facilitant l'acquisition de matériels de désherbage mécanique ou d'équipements de limitation de dérive des traitements herbicides, MAEC à enjeux eaux ou biodiversité, conversion AB...).

Enjeu central du plan Ecophyto II, la problématique de la gestion des adventices en grandes cultures est inscrite pour longtemps au cœur des préoccupations du monde agricole français et revêt plus que jamais une dimension multi-acteurs. La mobilisation croissante des différents acteurs et le développement d'un débat serein à l'échelle nationale, dont le séminaire 2015 du GIS GC-HP2E et du RMT Florad a constitué un moment privilégié, vont se poursuivre dans les années à venir. Ils contribueront aussi à désenclaver la thématique des adventices pour raisonner de manière toujours plus intégrée les changements de systèmes, à la croisée des enjeux de l'alimentation, de la qualité de l'eau et de l'air, ainsi que de la préservation de la biodiversité.



INRA : G. Louviot

Principales références

1

Cadoux S, Sauzet G, Valantin-Morison M, Pontet C, Champolivier L, Robert C, et al. Intercropping frost-sensitive legume crops with winter oilseed rape reduces weed competition, insect damage, and improves nitrogen use efficiency. *OCL*. 2015;22(3):D302.

Cernay, C., Ben-Ari, T., Pelzer, E., Meynard, J.M., Makowski, D., 2015. Estimating variability in grain legume yields across Europe and the Americas. *Scientific Reports* 5, 11171.

Corre-Hellou, G., Dibet, A., Hauggaard-Nielsen, H., Crozat, Y., Gooding, M., Ambus, P., Dahlmann, C., von Fragstein, P., Pristeri, A., Monti, M., Jensen, E.S., 2011. The competitive ability of pea-barley intercrops against weeds and the interactions with crop productivity and soil N availability. *Field Crops Research* 122, 264-272.

Fisk J.W. et al, 2001. Weed Suppression by Annual Legume Cover Crops in No-Tillage Corn. *Agron. J.*, 93, 319.

Reau R, Monnot L-A, Schaub A, Munier-Jolain N, Pambou I, Bockstaller C, et al. Les ateliers de conception de systèmes de culture pour construire, évaluer et identifier des prototypes prometteurs. *Innovations Agronomiques*. 2012;20:5 33.

Teasdale J.R., Daughtry C.S.T., 1993. Weed suppression by live and desiccated hairy vetch (*Vicia villosa*). *Weed Sci.*, 207 212.

Teasdale J.R., Mohler C.L., 1993. Light Transmittance, Soil Temperature, and Soil Moisture under Residue of Hairy Vetch and Rye. *Agron. J.*, 85, 673.

Teasdale J.R., Mohler C.L., 2000. The quantitative relationship between weed emergence and the physical properties of mulches. *Weed Sci.*, 48, 385 392.

Valantin-Morison M., Guichard L., Jeuffroy M.-H., 2008. Comment maîtriser la flore adventice des grandes cultures à travers les éléments de l'itinéraire technique. In : INRA (Eds), *Maîtrise de la flore adventice en grandes cultures*, Dijon.

2

Aouadi, N., Aubertot, J. N., Caneill, J., & Munier-Jolain, N. (2015). Analyzing the impact of the farming context and environmental factors on cropping systems: A regional case study in Burgundy. *European Journal of Agronomy*, 66, 21-29.

Asai, M., Langer, V., Frederiksen, P., Jacobsen, B.H., 2014. Livestock farmer perceptions of successful collaborative arrangements for manure exchange: A study

in Denmark. *Agric. Syst.* 128, 55–65. doi:10.1016/j.agsy.2014.03.007

Aubertot, J.-N., Robin, M.-H., 2013. Injury Profile Simulator, a qualitative aggregative modelling framework to predict crop injury profile as a function of cropping practices, and the abiotic and biotic environment. I. Conceptual bases. *PLoS One* 8, e73202. doi:10.1371/journal.pone.0073202

Ball, D.A., 1992. Weed Seedbank Response to Tillage, Herbicides, and Crop Rotation Sequence. *Weed Sci.* 40, 654–659. doi:10.2307/4045261

Barzman, M., Bàrberi, P., Birch, a. N.E., Boonekamp, P., Dachbrodt-Saaydeh, S., Graf, B., Hommel, B., Jensen, J.E., Kiss, J., Kudsk, P., Lamichhane, J.R., Messéan, A., Moonen, A.-C., Ratnadass, A., Ricci, P., Sarah, J.-L., Satin, M., 2015. Eight principles of integrated pest management. *Agron. Sustain. Dev.* doi:10.1007/s13593-015-0327-9

Benjamini, Y., and Hochberg, Y., 1995. Controlling the false discovery rate: a practical and powerful approach to multiple testing. *Journal of the Royal Statistical Society Series B* 57, 289–300.

Bockus, W.W., Shroyer, J.P., 1998. The impact of reduced tillage on soilborne plant pathogens. *Annu. Rev. Phytopathol.* 36, 485–500. doi:10.1146/annurev.phyto.36.1.485

Breiman, L., Friedman, J.H., Olshen, R.A., and Stone, C.I., 1984. *Classification and regression trees*. CRC press.

Breiman, L., 2001. Random forests. *Mach. Learn.* 5–32.

Bretz, F., Hothorn, T. and Westfall, P., 2010. *Multiple Comparisons Using R*. CRC Press, Boca Raton.

Bürger, J., de Mol, F., Gerowitt, B., 2012. Influence of cropping system factors on pesticide use intensity – A multivariate analysis of on-farm data in North East Germany. *Eur. J. Agron.* 40, 54–63. doi:10.1016/j.eja.2012.02.008

Cardina, J., Herms, C.P., Doohan, D.J., 2002. Crop rotation and tillage system effects on weed seedbanks. *Weed Sci.* 50, 448–460. doi:10.1614/0043-1745(2002)050[0448:CRATSE]2.0.CO;2

Conover, W. J., 1999. *Practical Nonparametric Statistics* (3rd ed.). Wiley.

Davis, A.S., Hill, J.D., Chase, C. a, Johanns, A.M., Liebman, M., 2012. Increasing cropping system diversity balances productivity, profitability and environmental health. *PLoS One* 7, e47149. doi:10.1371/journal.pone.0047149

Dessaint, F., Biju-Duval, L., Buthiot, M., Guillemain, J.P., 2014. Évaluer l'intensité de l'utilisation des pesticides dans les colzas. OCL - Ol. Corps Gras, Lipides 21, 1–6.

Doré, T., Makowski, D., Malézieux, E., Munier-Jolain, N., Tchamitchian, M., Tottonell, P., 2011. Facing up to the paradigm of ecological intensification in agronomy: Revisiting methods, concepts and knowledge. Eur. J. Agron. 34, 197–210. doi:10.1016/j.eja.2011.02.006

Duru, M., Therond, O., Martin, G., Martin-Clouaire, R., Magne, M.-A., Justes, E., Journet, E.-P., Aubertot, J.-N., Savary, S., Bergez, J.-E., Sarthou, J.P., 2015. How to implement biodiversity-based agriculture to enhance ecosystem services: a review. Agron. Sustain. Dev. doi:10.1007/s13593-015-0306-1

Ephy website. Le catalogue des produits phytopharmaceutiques et de leurs usages des matières fertilisantes et des supports de culture homologués en France. French Ministry of Agriculture and Agribusiness. <http://e-phy.agriculture.gouv.fr/> (accessed, July 2014)

French Ministry of Agriculture and Fisheries, 2008. The Ecophyto 2018 plan for the reduction of pesticide use over the period 2008-2018. http://agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/PLAN_ECO-PHYTO_2018_eng.pdf

Hajjar, R., Jarvis, D.I., Gemmill-Herren, B., 2008. The utility of crop genetic diversity in maintaining ecosystem services. Agric. Ecosyst. Environ. 123, 261–270. doi:10.1016/j.agee.2007.08.003

Herrero, M., Thornton, P.K., Notenbaert, a M., Wood, S., Msangi, S., Freeman, H. a, Bossio, D., Dixon, J., Peters, M., van de Steeg, J., Lynam, J., Parthasarathy Rao, P., Macmillan, S., Gerard, B., McDermott, J., Seré, C., Rosegrant, M., 2010. Smart investments in sustainable food production: revisiting mixed crop-livestock systems. Science 327, 822–5. doi:10.1126/science.1183725

Janzen, H.H., 2011. What place for livestock on a greening earth? Anim. Feed Sci. Technol. 166-167, 783–796. doi:10.1016/j.anifeedsci.2011.04.055

Lamichhane, J.R., Dachbrodt-Saaydeh, S., Kudsk, P., Messéan, A., 2015. Towards a reduced reliance on conventional pesticides in European agriculture. Plant Dis. 150803104216002. doi:10.1094/PDIS-05-15-0574-FE

3

Attoumani-Ronceux A., Aubertot J.-N., Guichard L., 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. Ministères chargés de l'agriculture et de l'environnement, RMT Systèmes de culture innovants, 116 p.

<http://agriculture.gouv.fr/guide-pratique-pour-la-conception-de-systemes-de-culture-plus-economes-en-produits-phytosanitaires>.

Dumas, M., Moraine, M., Reau R., Petit, M.-S., 2012, Rapport FERME 2010 - Produire des ressources pour l'action à partir de l'analyse de systèmes de culture économes en produits phytosanitaires mis au point par les agriculteurs dans leurs exploitations, Tome II « Synthèse de 36 systèmes de culture économes et performants ».

Meynard, J. M., 2012. La reconception est en marche ! Conclusion au Colloque « Vers des systèmes de culture innovants et performants : De la théorie à la pratique pour concevoir, piloter, évaluer, conseiller et former », Innovations Agronomiques, pp 143-153

Petit, M.-S., Reau, R., Dumas, M., Moraine, M., Omon, B., Josse, S., 2012. Mise au point de systèmes de culture innovants par un réseau d'agriculteurs et production de ressources pour le conseil. Innovations Agronomiques, 20, pp.79-100

Reau, R., Mischler, P., Petit, M. S., 2010. Évaluation au champ des performances de systèmes innovants en cultures arables et apprentissage de la protection intégrée en fermes pilotes. Innovations Agronomiques, 8, pp 83-103

Sebillotte, M., 1990. Système de culture, un concept opératoire pour les agronomes, in: Lacombe, L., Picard, D. (Eds.), Un Point Sur Les Systèmes de Culture. Paris: Inra Éditions. pp. 165–190.

4

Bellanger S., Guillemain J.P., Bretagnolle V., & Darmency H. (2012). *Centaurea cyanus* L. as a biological indicator of segetal species richness in arable fields. Weed Research, 52, 551-563.

Bellanger S., Guillemain J.-P., Darmency H. (2014). Pseudo-self-compatibility in *Centaurea cyanus* L. Flora, 209:325-331.

Bellanger S, Guillemain J-P, Touzeau S, Darmency H (2015) Variation of inbreeding depression in *Centaurea cyanus* L., a self-incompatible species. Flora, 212, 24-29.

Berry, Nicholas K., John M. Fielke, and Chris Saunders. "Determination of impact energy to devitalize annual ryegrass (*Lolium rigidum*) seed from one impact using double and single sided impacts." Biosystems Engineering 118 (2014): 138-146.

Bretagnolle V. & Gaba S. (2015) Weeds for bees? A review. Agronomy for Sustainable Development. 35(3):891-909.

- Charles, R., Montfort, F., & Sarthou, J. P. (2012). Effets biotiques des cultures intermédiaires sur les adventices, la microflore et la faune. Justes E. et al. (Eds) in : Réduire les fuites de nitrate au moyen de cultures intermédiaires : Conséquences sur les bilans d'eau et d'azote, autres services écosystémiques, édition INRA 2012.
- Darmency H., Bellanger S., Matejicek A., Guillemin JP. (2016). Long-day dependent segetal biodiversity threatened by climate change. *Agriculture, Ecosystem and Environment*, 216, 340-343
- Eraud C, Cadet E, Powolny T, Gaba S, Bretagnolle F, Bretagnolle V (2015) Weed seeds, not grain, contribute to the diet of wintering skylarks in arable farmlands of Western France. *European Journal of Wildlife Research* 61 (1):151-161.
- Fried, G., Petit, S., Dessaint, F., & Reboud, X. (2009). Arable weed decline in Northern France: crop edges as refugia for weed conservation?. *Biological Conservation*, 142(1), 238-243.
- Fried, G., Petit, S., & Reboud, X. (2010). A specialist-generalist classification of the arable flora and its response to changes in agricultural practices. *BMC ecology*, 10(1), 20.
- Hamill AS, Zhang J (1995). Herbicide reduction in metribuzin based weed control programs in corn. *Canadian Journal of Plant Science*, 75, 927-933.
- Harrington, Raymond B., and Stephen B. Powles. "Harrington seed destructor: a new nonchemical weed control tool for global grain crops." *Crop Science* 52.3 (2012): 1343-1347.
- Hyvonen T (2007) Can conversion to organic farming restore the species composition of arable weed communities? *Biological Conservation* 137 (3):382-390. doi:10.1016/j.biocon.2007.02.021
- Klein AM, Vaissiere BE, Cane JH, Steffan-Dewenter I, Cunningham SA, Kremen C, Tscharntke T (2007) Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proc R Soc B-Biol Sci* 274 (1608):303-313
- Koprdiva S., Bellanger S., Skuhrovec J., Darmency H. (2015) Link between gall midge larvae infestation (Diptera, Cecidomyiidae) and pre-dispersal seed mortality in *Centaurea cyanus*. *Acta Oecologica*, 69, 167-172
- Le Corre V., Bellanger S., Guillemin J.-P., Darmency H. (2014). Genetic diversity of the declining arable plant *Centaurea cyanus*: population fragmentation within an agricultural landscape is not associated with enhanced spatial genetic structure. *Weed Research*, 54:436-444.
- Marshall EJP, Brown VK, Boatman ND, Lutman PJW, Squire GR, Ward LK (2003) The role of weeds in supporting biological diversity within crop fields. *Weed Research* 43:77-89.
- Meiss, H., Mediene, S., Waldhardt, R., Caneill, J., Bretagnolle, V., Reboud, X., & Munier-Jolain, N. (2010). Perennial lucerne affects weed community trajectories in grain crop rotations. *Weed research*, 50(4), 331-340.
- Bournigal, J. M. (2014). Définir ensemble le futur du secteur des agroéquipements. Mission ministérielle dans le cadre du Plan agroécologie pour la France.
- Oerke E-C (2006) Crop losses to pests. *The Journal of Agricultural Science* 144 (01):31-43.
- Perrot T. (2015-2018) Thèse cofinancée par l'ANR Agrobiose & l'INRA Méta-Programme EcoServ.
- Petit C, Arnal H, Darmency H (2015) Effects of fragmentation and population size on the genetic diversity of *Centaurea cyanus* (Asteraceae) populations, *Plant Ecology and Evolution*, 148, 191–198
- Requier F, Odoux JF, Tamic T, Moreau N, Henry M, Decourtye A, Bretagnolle V (in press revision) Honey-bee diet in intensive farmland habitats reveals an unexpected flower richness and a critical role of weeds. *Ecological Applications*, 25(4): 881-890
- Rollin O, Bretagnolle V, Decourtye A, Aptel J, Michel N, Vaissière BE, Henry M (2013) Differences of floral resource use between honey bees and wild bees in an intensive farming system. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 179(0):78-86.
- Salonen J. (1992). Yield responses of spring cereals to reduced herbicide doses. *Weed Research* 32:493–499.
- Steckel LE, Defelice SM, Sims BD (1990) Integrating Reduced Rates of Post emergence Herbicides and Cultivation for Broadleaf Weed Control in Soybeans (*Glycine max*). *Weed Science* 38(6): 541-545
- Sutcliffe OL, Kay QON (2000) Changes in the arable flora of central southern England since the 1960s. *Biological Conservation* 93:1-8.
- Walsh, Michael, Peter Newman, and Stephen Powles. "Targeting weed seeds in-crop: a new weed control paradigm for global agriculture." *Weed Technology* 27.3 (2013): 431-436.
- Zhang ZH, Weaver SE, Hamill AS. 2000. Risks and reliability of using herbicides at below-labeled rates. *Weed Technology* 14:106–115.

Cet ouvrage intègre la collection du GIS GC-HP2E sur le thème des échanges des Rencontres du GIS GC-HP2E.

Rédaction

Laurent Basilico

Edition

Elisabeth Pelletier (Terres Inovia), Stéphanie Potok (INRA Transfert)

Remerciements

À Céline Denieul (InVivo Agrosolutions), Fanny Vuillemin (Terres Inovia) et Alain Rodriguez (ACTA) pour leur relecture attentive.

Au comité d'organisation des Rencontres 2015 du GIS GC-HP2E et du RMT Florad :
Frédérique Angevin (INRA), Ludovic Bonin (Arvalis Institut du végétal),
Guillaume Chancrin (Bayer), Stéphane Cordeau (INRA), Marc Delattre (Dijon Céréales),
Céline Denieul (InVivo Agrosolutions), Jérémie Dreyfus (APCA), Sabrina Gaba (INRA),
Christelle Gée (AgroSup Dijon), Jérôme Jullien (SDQSPV – Ministère chargé de
l'Agriculture), Martine Leflon (Terres Inovia), Antoine Messéan (INRA),
Etienne Pilorgé (Terres Inovia), Alain Rodriguez (ACTA), Fanny Vuillemin (Terres Inovia).

Maquette et création graphique

Nathalie Harel (Terres Inovia)

Photo de couverture

G. Louvriot (INRA)

Achevé d'imprimer en février 2016

sur papier issu de forêts gérées durablement par
Bialec

95 Bd d'Austrasie CS 10423

54001 Nancy cedex

Imprimé en France

