

AFPP – 22^e CONFÉRENCE DU COLUMA
JOURNÉES INTERNATIONALES SUR LA LUTTE CONTRE LES MAUVAISES HERBES
DIJON – 10, 11 ET 12 DÉCEMBRE 2013

**EXPLOITATION DES DONNÉES D'ÉPIDÉMIOLOGIE À L'ÉCHELLE DE LA DÉCADE :
LES PRATIQUES CULTURALES EN COLZA INFLUENCENT AUSSI INDIRECTEMENT LA COMPOSITION
DE LA FLORE ADVENTICE DU BLE D'HIVER**

G. FRIED⁽¹⁾, B. CHAUVEL⁽²⁾ et X. REBOUD⁽²⁾

⁽¹⁾ Anses – Laboratoire de la Santé des Végétaux – Unité Entomologie et Plantes invasives, CBGP, Campus de Baillarguet, CS 30016, 34988 Montferrier-sur-Lez, France, guillaume.fried@anses.fr

⁽²⁾ INRA, UMR1347 AGROÉCOLOGIE, 17 rue SULLY, BP 85610, F-21000 DIJON, France ;
bruno.chauvel@dijon.inra.fr ; xavier.reboud@dijon.inra.fr ;

RÉSUMÉ

Le réseau Biovigilance Flore compile sur 9 années près de 5400 données sur 714 communes. A cette échelle de temps et d'espace il devient possible de partitionner l'impact de différents facteurs affectant la flore et de voir parallèlement s'exprimer des différences entre espèces généralistes et plus spécialistes des conditions culturales ou de l'environnement. Dans cet article nous conduisons une analyse comparée des flores du colza et du blé et montrons qu'une part des changements de la flore observée en blé est imputable à l'entrée et l'évolution de fréquence et d'espèces dans le colza. Ce résultat stigmatise l'importance de l'échelle de la rotation sur l'expression des flores via le stock semencier présent dans chaque parcelle. Le revers positif de la médaille est que cela donne aussi quelques pistes pour piloter la flore d'une parcelle sur un pas de temps qui prenne en compte les effets partiels et cumulatifs de certaines pratiques.

Mots-clés : pilotage pluriannuel, espèce spécialiste, épidémiologie, probabilité de présence, effet partiel

ABSTRACT

USING SURVEILLANCE DATA AT THE SCALE OF THE DECADE: THE WEED MANAGEMENT PRACTICES IN OILSEED RAPE INDIRECTLY ALSO AFFECT WEED SPECIES COMPOSITION IN WINTER WHEAT

The 'Biovigilance Flore' national weed survey gathers about 5400 field data over 714 communes and 9 years. At this spatial and temporal scale, it is possible to partition the impact of different factors on weed flora and to highlight differences between generalist species and species more specialized to particular environmental or agricultural conditions. In this article, we analyzed and compared changes in weed flora of both oilseed rape and winter wheat. Results showed that a part of changes observed in winter wheat can be attributed to new species 'entering' or increasing their frequencies in oilseed rape. On one hand, this results stress the importance of considering the crop rotation scale for understanding the weed flora that emerged through the soil seed bank of each field. On the other hand, this also provides some new perspectives for managing weed flora on a timescale that accounts for partial and cumulative effects of some practices.

Keywords: multi-year weed management, specialist species, monitoring, partial effect

INTRODUCTION

Le réseau de Biovigilance Flore (BF) des grandes cultures a été mis en place en 2002 afin de surveiller les changements de flore en lien avec l'évolution des pratiques agricoles (Fried *et al*, 2007). Au-delà des premières synthèses malherbologiques par culture, ce dispositif a permis d'avancer sur des approches plus conceptuelles, à travers la théorie des règles d'assemblages des espèces (Fried *et al*, 2009) ou par la notion d'espèces généralistes-spécialistes (Fried *et al*, 2010), appliquées aux communautés de plantes adventices. Ce détour par la théorie était nécessaire pour assoir des approches méthodologiques et ouvrir de nouvelles perspectives en épidémiologie. Les approches se faisant à l'échelle des caractéristiques biologiques ou écologiques des espèces permettent de généraliser les liens entre les pratiques et la flore résultante, faisant émerger les principes d'un contrôle de la flore reposant sur une combinaison d'effets partiels, dans la ligne d'un contrôle de la flore activé via l'environnement (Gaba *et al*, 2013). Dans cette série de travaux, l'objectif est d'évaluer les bases d'une gestion qui viserait à orienter la composition de la flore adventice à travers le choix de solutions les plus défavorables aux espèces dont on ne veut voir augmenter ni la fréquence ni l'abondance.

Interpréter la dynamique de la flore adventice reste toutefois difficile en raison de la multiplicité des facteurs à prendre en compte. Les pratiques culturales agissent en effet à différentes échelles, et peuvent avoir des effets partiels, cumulatifs voire opposés. Dans le prolongement d'une première étude étendant le concept de niche écologique aux adventices (Fried et Reboud, 2007a), cet article illustre comment le degré de spécialisation des espèces à différentes échelles et selon différentes axes (culture, sol) concourt à mieux intégrer les effets complexes des pratiques sur la flore. La niche écologique d'une espèce peut être définie comme l'ensemble des conditions environnementales (abiotiques et biotiques) permettant son existence. Elle peut être représentée par une portion d'un espace à n-dimensions où chaque dimension décrirait des conditions physico-chimiques et biologiques différentes. Définir la niche écologique des adventices revient donc simplement à caractériser l'ensemble des conditions pédo-climatiques et culturales compatibles avec leur présence. C'est ce que permet un large jeu de données comme le réseau Biovigilance Flore fort de ses 5380 relevés. La taille relative de la niche écologique permet de distinguer des espèces dites généralistes, capables de se développer dans une large gamme de conditions (sol, climat, type de cultures) et des espèces dites spécialistes, inféodées à une situation particulière (pour plus de détails voir Fried et Reboud, 2007a). Il est admis en Ecologie que l'augmentation de la fréquence des perturbations dans le temps ou la fragmentation des habitats dans l'espace favorise les espèces les plus généralistes (Julliard *et al*, 2006) ; un constat partagé pour la flore des champs cultivés durant la période d'intensification des pratiques entre la fin des années 1960 et les années 2000 (Fried *et al*, 2010). Cependant, une espèce peut tout à la fois être généraliste pour le type de culture (capable de pousser aussi bien dans un blé que dans un maïs) et spécialiste d'un type de sol (uniquement sur sol sableux) et *vice versa*. D'un côté on peut donc s'attendre à la sélection d'espèces spécialistes de cultures d'assolement croissant, comme le colza et le tournesol. D'un autre côté, l'homogénéisation des conditions abiotiques de cultures par chaulages ou amendements, ou la modification accélérée des pratiques devraient être favorable aux espèces les plus généralistes. Il est donc assez informatif de décomposer le degré de spécialisation des espèces sur les principaux axes de leur niche écologique (culture, sol, etc.), afin de démêler les effets propres à une culture (utilisation prédominante d'une matière active) des effets généraux touchant l'ensemble du système de culture (adoption du non-travail du sol, diminution des intrants chimiques).

En tant que culture semée avant l'hiver, le colza partage une part importante du spectre d'espèces adventices que l'on trouve aussi dans le blé d'hiver. Sa date de semis dès la fin de l'été, et la nature des herbicides utilisés, ont été identifiées comme facteurs responsables de la sélection d'une flore particulière jusqu'alors peu représentée dans les céréales (Fried et Reboud, 2007b ; Fried *et al*, 2013). En retour, on peut également s'interroger sur l'influence qu'a eu cette culture sur la flore du blé d'hiver qui succède généralement au colza.

Dans le présent article (1) on exposera principalement comment ont évolué les flores du blé et du colza depuis les années 1970, en portant une attention particulière au degré de spécialisation des espèces sélectionnées ; (2) on mettra aussi en relief les contributions relatives des principales pratiques

culturelles et des conditions pédoclimatiques dans la nature des espèces adventices relevées dans ces deux cultures.

MATERIEL ET METHODE

RELEVES FLORISTIQUES UTILISES

Deux enquêtes nationales sur la distribution des adventices des grandes cultures en France portant sur les périodes 1973-1976 (Barralis, 1977) et 2002-2010 (Fried et al, 2007) ont été comparées. Le découpage de la moitié nord de la France en trois (cf. Barralis, 1977), avec une large région Ouest (O), le Nord associé au Bassin parisien (NBP) et un large quart Est (E) a été conservé¹ afin de déterminer des tendances par grands bassins de production. Pour la période 2002-2010, dans chaque parcelle du réseau BF, un relevé de flore est effectué dans une zone témoin non désherbée chimiquement (tem) et un second dans une zone de surface équivalente dans la partie désherbée de la parcelle (par). Dans chacune de ces zones, les relevés sont effectués à deux dates : N1, environ 1 à 2 mois après le semis (soit autour du 8 octobre pour le colza et du 3 décembre pour le blé), et N2, environ 6 à 7 mois après semis (soit autour du 12 mars pour le colza et du 8 avril pour le blé).

INDICES FLORISTIQUES SYNTHETIQUES

Fréquence, densité et indice de contrôle moyen

La **fréquence relative (Fr.)** d'une espèce est le nombre de parcelles où l'espèce est présente divisée par le nombre de parcelles échantillonnées. La **densité moyenne d'une espèce (d_{esp})** a été calculée selon la formule suivante $d_{esp} = 11,5 * n_3 + 35,5 * n_4 + 75,5 * n_5 + 1,5 (N - n_3 - n_4 - n_5) / N$ où n_3, n_4, n_5 représentent le nombre de relevés où l'espèce est affectée des coefficients semi-quantitatifs d'abondance 3, 4, 5 sur une échelle de 0 à 5 et N, le nombre total de relevés (Barralis, 1977). L'**Indice de Contrôle de chaque espèce (IC_{esp})** permet d'approximer la diminution de densité (d_{esp}) entre les observations automnales et les observations réalisées après le dernier désherbage en utilisant le différentiel entre zone témoin et traitée et les deux notations N1 et N2 :

$$IC = \frac{d_{esp}max(N1tem, N1par, N2tem) - d_{esp}(N2par)}{d_{esp}max(N1tem, N1par, N2tem) + d_{esp}(N2par)}$$

avec $d_{esp}max$ la densité maximale observée pour l'espèce, N1 et N2 les notations d'automne et de printemps respectivement et 'tem' et 'par', les relevés dans la zone témoin et désherbée respectivement². Seuls les 392 (respectivement 138) relevés effectués au moins 10 jours après le dernier désherbage ont été pris en compte pour le blé d'hiver (respectivement pour le colza). Il s'agit d'un indice brut intégrant à la fois le niveau de contrôle de l'espèce par l'agriculteur mais aussi des baisses simplement liées à des processus de compétition avec la culture ou entre adventices.

DONNEES CULTURALES, PHYTOSANITAIRES ET ENVIRONNEMENTALES

Les pratiques culturelles et phytosanitaires ont été résumées en quelques variables majeures (Tableau I). Plutôt que le précédent cultural, nous avons utilisé la proportion de cultures estivales durant les trois à cinq dernières années qui, d'après Colbach *et al* (2013), permet de mieux rendre compte de l'historique de la parcelle. Les perturbations mécaniques du sol ont été synthétisées par la profondeur de travail, opposant les parcelles travaillées conventionnellement en labour et les parcelles en mode de travail du sol réduit sans retournement. Les pratiques phytosanitaires ont été résumées par l'Indicateur de Fréquence de Traitements (IFT_H) qui est la somme des doses homologuées d'herbicides utilisées.

Les conditions édaphiques ont été résumées par le pH du sol. Les coordonnées géographiques : longitude (X), latitude (Y), et altitude (Z) ont également été prises en compte car résumant plusieurs gradients climatiques.

¹ Une carte délimitant ces trois régions est disponible dans Fried et al (2013).

² Pour chaque espèce dans chaque parcelle, IC_{esp} varie de -1 à 1 ; $IC_{esp}=1$ signifie que l'abondance de l'espèce a été réduite à 0 (quelle que soit son abondance initiale), $IC_{esp}=-1$ que l'espèce est apparue alors qu'elle était absente dans les premiers relevés, et $IC_{esp}=0$ qu'il n'y a pas eu de changement d'abondance.

Tableau I : Moyenne (et écart-type) des variables d'ordre 'agronomique' pour les parcelles de colza et de blé d'hiver étudiées dans trois régions du Nord de la France (Ouest, Nord du Bassin Parisien, Est)

Mean (and standard deviation) for the agricultural practices of the studied plots of oilseed rape and winter wheat in three regions of northern France

Variables agronomiques	Colza			Blé d'hiver		
	O	NBP	E	O	NBP	E
% cultures estivales.	15,92±21,79	4,56±9,82	9,88±13,54	37,09±36,80	24,37±36,43	41,51±44,69
% Non-Labour et TCS	44,8	49,7	70,4	39,5	55,5	50,1
Profondeur de labour	19.89 ±3.60	21.45 ±3.09	23.25 ±3.81	20,17±3,42	22,32±3,61	21,42±4,22
IFT _H (herbicides)	1.54±0.89	1.60±0.67	1.68 ±0.50	1,14±0,56	1,30±0,48	1,30±0,53

TCS : travail cultural simplifié

ANALYSES STATISTIQUES

Changement de statut des espèces entre 1976 et 2010

Le statut des espèces (en progression, stable ou en régression) a été déterminé sur la base du changement de rang moyen basé sur la fréquence des espèces entre 1973-1976 et 2002-2010 (pour le détail de la méthodologie, cf. Fried *et al*, 2005). La composition des 25 espèces majeures (en terme de Fr.) des principales grandes cultures a été comparée entre ces mêmes dates (1970, 2000) à l'aide de l'indice de similarité de Jaccard.

Variations de la composition de la flore

Afin d'identifier les facteurs affectant la composition des communautés, des Analyses Canoniques des Correspondances (ACC) ont été réalisées indépendamment pour la flore du blé (888 relevés et 68 espèces de Fr.>2.5%) et pour la flore du colza (318 relevés et 72 espèces de Fr.>2.5%), en utilisant comme variables explicatives : le pourcentage de cultures estivales, la profondeur de labour, l'IFT, le pH, la latitude, la longitude et l'altitude. La significativité de chaque variable a été testé avec 200 permutations. Les variables les plus importantes (celles ayant un effet significatifs) ont fait l'objet d'une ACC partielle (ACCp) dans laquelle l'effet des autres variables est 'retranché', ce qui permet de construire objectivement la décomposition des effets respectifs des différents facteurs affectant la flore.

Liens entre changement de statut et écologie des espèces

Pour mettre en évidence les mécanismes de tri de la flore au cours des dernières décennies, la **taille et la position de la niche écologique** des espèces en progression et en régression ont été comparées. (1) Le **degré de spécialisation global** est issu de Fried *et al* (2010) : il distingue les espèces généralistes et spécialistes sur l'ensemble de la niche écologique (prenant en compte pratiques culturales et conditions environnementales). (2) En utilisant l'ensemble des 5380 relevés de la base Biovigilance Flore, nous avons calculé le **degré de spécialisation aux cultures** des espèces adventices. Pour cela, l'indice IndVal (Dufrêne et Legendre, 1996) a été utilisé : IndVal combine la fréquence de l'espèce (nombre d'occurrence de l'espèce dans une culture / nombre de relevés total dans cette culture) et l'abondance relative (nombre d'individus de l'espèce dans cette culture / nombre total d'individus de l'espèce dans l'ensemble des cultures). De la même manière, nous avons calculé le **degré de spécialisation au pH du sol** en définissant 6 grandes classes [5-5,9] ; [6-6,5] ; [6,5-7] ; [7-7,5] ; [7,5-8] ; [>8]. Le coefficient de variation (écart-type/moyenne) de la valeur IndVal entre cultures et entre classes de pH a été utilisé comme **indice de spécialisation, respectivement à la culture et au pH** suivant la méthode développée par Julliard *et al* (2006). (3) Enfin, les valeurs IndVal pour la culture du colza et du blé d'hiver ont été utilisées comme **indices de spécialisation des espèces au colza et au blé d'hiver**. Des tests de Student (ou de Wilcoxon en cas de données issues d'une distribution non-paramétrée) ont été utilisés pour comparer les valeurs moyennes des différents degrés de spécialisation entre les espèces en régression et en progression. Concernant la **position de la niche écologique**, les coordonnées des espèces en

progression et en régression sur les ACCp de variables agronomiques ont été comparées afin de relier le statut et la réponse aux pratiques culturales.

RESULTATS

SIMILARITE ET DIFFERENCES DANS LE CHANGEMENT DE STATUT DES ESPECES DU COLZA ET DU BLE D'HIVER

Le statut des principales adventices du colza et du blé d'hiver est résumé dans le Tableau II.

Tableau II : Statut, degré de spécialisation et indice de contrôle des 25 principales adventices et de quelques espèces raréfiées dans le colza et le blé d'hiver de trois régions du Nord de la France

Status changes, specialization degree and control index among the main (and some rarefied) weed species of oilseed rape and winter wheat in three regions of northern France

Espèces	Colza			IndVal (Colza)	IC _{esp} (Colza)	Blé d'hiver			IndVal (Blé)	IC _{esp} (Blé)	Total Fr.
	Statut					Statut					
	O	NBP	E			O	NBP	E			
<i>Galium aparine</i>	=	=	↘	3,6	0,59	=	↗	=	10,7*	0,59	49,9
<i>Matricaria</i> spp.	↘	=	=	3,0	0,52	=	↗	=	3,1	0,71	42,5
<i>Alopecurus myosuroides</i>	↘	=	=	8,2	0,72	↘	=	=	7,4	0,69	40,4
<i>Senecio vulgaris</i>	↗	=	=	5,4	0,70	↗N	↗N	↗?	6,4	0,74	38,7
<i>Viola arvensis</i>	=	↗	↗	10,4**	0,41	=	↗	↗	8,5	0,64	37,9
<i>Stellaria media</i>	↘	↘	↘	2,7	0,74	=	↘	↘	11,9**	0,87	37,3
<i>Veronica persica + polita</i>	↘	=	=	6,4	0,71	=	=	↗	9,3*	0,68	35,8
<i>Veronica hederifolia</i>	↘	=	=	2,3	0,53	↘	=	=	21,2**	0,63	33,6
<i>Poa annua</i>	↗	↘	=	2,7	0,68	↗	↗	↗	11,0**	0,69	33,3
<i>Sinapis arvensis</i>	=	=	=	6,4	0,61	=	↗	=	1,9	0,76	27,3
<i>Papaver rhoeas</i>	↘	↘	↘	3,0	0,58	↘	↘	=	8,0	0,72	27,0
<i>Capsella bursa-pastoris</i>	=	=	=	12,9**	0,66	↗	=	=	3,1	0,83	26,6
<i>Lolium</i> spp.	↘	↗	↗	5,3	0,68	↘	↗	↗	3,2	0,50	22,6
<i>Sonchus asper</i>	↗N	↗N	↗?	8,0	0,77	?	?	?	0,2	0,85	19,7
<i>Fumaria officinalis</i>	=	↘	↘	0,5	0,50	↗	=	↘	1,7	0,66	19,1
<i>Geranium dissectum</i>	↗N	↗N	↗N	23,4*	0,45	↗?	↗?	↗N	2,2	0,67	19,0
<i>Cirsium arvense</i>	↗?	↗?	↗?	1,4	0,75	↘	=	=	0,7	0,38	18,8
<i>Polygonum aviculare</i>	↗?	=	=	0,3	0,44	↘	↘	↘	2,0	0,50	17,0
<i>Aphanes arvensis</i>	↘	↘	=	6,5	0,55	=	↘	↘	8,1**	0,61	16,7
<i>Mercurialis annua</i>	↗	↗	↗?	2,7	0,71	↗?	?	?	0,2	0,77	14,6
<i>Raphanus raphanistrum</i>	=	=	↘	3,8	0,54	=	=	↘	1,3	0,82	14,1
<i>Chenopodium album</i>	↗N	↗N	?	0,7	0,96	↗?	↗?	?	0,1	0,70	13,6
<i>Myosotis arvensis</i>	↘	↘	=	5,9*	0,64	=	=	↗	2,4	0,83	13,4
<i>Fallopia convolvulus</i>	=	=	=	0,2	0,69	=	=	=	0,9	0,53	13,4
<i>Lapsana communis</i>	=	=	↗?	4,7*	0,64	↗?	=	=	1,4	0,62	12,0
Espèces devenues rares											
<i>Arabidopsis thaliana</i>	↘	=	↘	1,7	0,38	↘	↘	↘	4,1*	0,93	3,7
<i>Valerianella</i> spp.	?	=	↗?	4,3*	0,46	=	↘	=	0,8	1,00	3,4
<i>Poa trivialis</i>	↘	↘	↘	0,3	0,65	=	=	↗?	3,1	0,61	3,4
<i>Elytrigia repens</i>	↘	↘	↘	0,0	0,11	=	=	=	0,1	0,16	2,6
<i>Spergula arvensis</i>	↘	↘	↘	0,0	1,00	=	?	?	0,3	0,92	1,2
<i>Legousia speculum-veneris</i>	?	?	?	0,7	0,61	=	↘	↘	1,4	0,66	0,2
<i>Avena sativa</i> subsp. <i>sterilis</i>	↘	?	↘	0,0	-	↘	?	?	0,0	-	0,0
% nouvelles espèces	33.3	37.5	45.8			28.6	14.3	28.6%			
Rang moyen d'entrée	18	18	17			20	21	20			

Légende. Statut : ↗ : en progression ; = : stable ; ↘ : en régression ; ↗? : en progression d'après le rang moyen mais sans pouvoir le confirmer statistiquement ; N : entrée dans le classement des 24 (colza)-28 (blé) espèces majeures. IndVal : plus l'indice est grand, plus l'espèce est spécialiste de la culture, en gras celle significativement spécialiste (* P<0.05 ; **P<0.01). IC_{esp} : plus l'indice est élevé (jusqu'à 1), mieux l'espèce est contrôlée, en gras (IC_{esp}<0,6) et souligné (IC_{esp}<0,5), les espèces persistant le plus après désherbage. Pour le blé, les comparaisons portent sur 768 et 2019 relevés pour les décades 1970 et 2000 respectivement. Pour le colza, les comparaisons intègrent 198 relevés en 1970 et 467 en 2000.

En combinant relevés en blé d'hiver (N=2019 relevés sur 763 parcelles) et en colza (N=467 relevés sur 333 parcelles), neuf espèces majeures se distinguent par leur présence dans plus d'un tiers des parcelles (Tableau II). Le gaillet (*Galium aparine* L.), les matricaires (*Matricaria recutita* L. et *Tripleurospermum inodorum* Sch.Bip. = *Matricaria* spp. dans la suite du texte) et le vulpin (*Alopecurus myosuroides* Huds.) forment le trio de tête dans plus de 40% des parcelles.

L'analyse comparative entre les deux cultures montre des similitudes telles que l'augmentation de la fréquence de *Senecio vulgaris* L. dans l'Ouest, de *Viola arvensis* Murray et de *Lolium* spp. dans le Nord et l'Est, de *Geranium dissectum* L. en particulier dans l'Est ; ou encore la baisse assez généralisée des espèces *Stellaria media* (L.) Vill., *Papaver rhoeas* L., *Avena sativa* subsp. *fatua* (L.) Thell., et d'autres plus discrètes comme *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. et *Cerastium* spp.

Quelques changements semblent plus spécifiques à l'une ou l'autre des cultures. Ainsi en colza, *Sonchus asper* (L.) Hill et *Mercurialis annua* L. progressent particulièrement dans l'Ouest. De même en blé, on constate une progression de *G. aparine* et de *Matricaria* spp. dans le Nord ou encore de *Veronica persica* Poir. dans l'Est. Comparé au blé d'hiver, le colza compte une proportion plus élevée de nouvelles espèces parmi les 25 espèces majeures avec une « entrée » dans cette liste à un rang moyen plus proche du « sommet » de la liste.

La Figure 1 montre l'évolution comparative des flores des principales grandes cultures. Les espèces adventices majeures du colza des années 1970s sont plus similaires à celles du blé d'hiver qu'à celles du colza des années 2000. Autrement dit, le colza des années 2000 présente une composition floristique qui découle autant de la composition floristique du colza des années 70 que des différentes compositions de blé sur l'ensemble de la période.

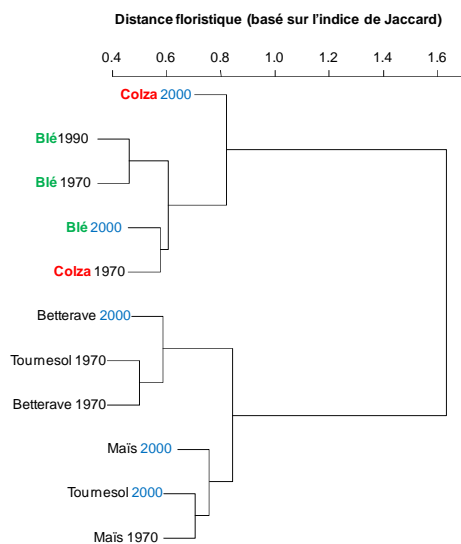


Figure 1 : Différences de composition des 25 espèces majeures de la flore des cinq principales grandes cultures entre 1970 et 2000 sur la base d'une Classification ascendante hiérarchique selon la méthode de Ward. Compositional differences between the 25 main weed species of the five main crop types between the 1970s and the 2000s, based on the Ward ascendant hierarchical clustering method.

DEGRE DE SPECIALISATION AU TYPE DE CULTURE ET REPNSES AUX CONDITIONS CULTURALES ET ENVIRONNEMENTALES

L'index de spécialisation à la culture indique que, parmi les espèces majeures, les véroniques (*Veronica hederifolia* L. et *V. persica*), *S. media*, *Poa annua* L. et *G. aparine* sont significativement inféodées au blé d'hiver, tandis que *G. dissectum*, *Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik. et *Viola arvensis* sortent comme spécialistes du colza (Tableau II). Aucune corrélation n'est trouvée entre le degré de spécialisation à la culture (IndVal) et l'indice de contrôle (IC_{esp}), bien qu'une tendance marginalement significative indique une corrélation négative entre ces deux indicateurs pour les espèces de la flore du colza ($r=-0.35$, $P=0.060$, $n=30$ espèces majeures ; pour le blé $r=0.002$, $P=0.990$, $n=30$).

Pour le colza, la composition des communautés varie fortement suivant l'altitude et la longitude sur l'axe 1 de l'ACC, puis selon la latitude, le mode de travail du sol, le pH, l'IFT et dans une moindre mesure la proportion de culture estivale sur l'axe 2. Les tests de permutations indiquent que seules la longitude ($F=2,99$, $P=0,005$) et la profondeur de labour ($F=2,12$, $P=0,015$) ont un effet significatif. Pour le blé, les variations de composition sont surtout déterminées par le pH du sol et la longitude (axe 1 de l'ACC), puis par les facteurs agronomiques (Labour, IFT, proportion de culture estivale). L'axe 2 est principalement associé à la latitude. L'ensemble des facteurs testés ont un effet significatif ($P<0,01$).

QUELLES DIFFERENCES D'ÉCOLOGIE ENTRE ESPÈCES EN PROGRESSION ET ESPÈCES EN RÉGRESSION ?

Dans la flore du colza, le contraste entre espèces en progression et celles en régression (Tableau II) met en évidence la sélection préférentielle d'espèces spécialistes du colza (dans les 3 régions) et plus

tolérantes aux herbicides du colza (région O) ou du blé (région E). A l'inverse, dans les trois régions, les espèces spécialistes d'un pH particulier du sol sont en régression tout comme les spécialistes du blé d'hiver (région O).

Dans le blé d'hiver, il n'y a parallèlement pas eu de sélection d'espèces spécialistes du blé ni d'espèces tolérantes aux herbicides de cette culture. Dans la région NPB, on note même une tendance à la sélection d'espèces plus généralistes, notamment quant à leur exigence vis-à-vis des cultures.

Tableau II : Valeurs moyennes de différents indices de spécialisation écologique des espèces en progression et en régression en colza et en blé d'hiver.

Mean values of several ecological indicators between decreasing and increasing species in oilseed rape and winter wheat.

Colza	E		NPB		O	
	↗	↘	↗	↘	↗	↘
Degrés de spécialisation						
global [14,3-142,3]	52.5±27.1 ^a	46.3±20.4 ^a	48.3±20.7 ^a	51.2±25.6 ^a	46.4±20.1 ^a	52.1±25.1 ^a
aux cultures [0,6-3,2]	2.1±1.0 ^a	1.5±0.6 ^a	1.6±1.1 ^a	1.5±0.5 ^a	1.6±1.0 ^a	1.5±0.6 ^a
au pH [0,2-2,2]	0.5±0.2^a	0.9±0.4^b	0.5±0.2^a	1.0±0.4^b	0.6±0.3^a	0.9±0.4^b
au Colza [0-32,4]	17.9±12.1^a	1.6±1.5^b	14.1±12.6^a	2.1±2.2^b	12.2±12.6^a	3.1±2.6^b
au Blé [0-21,2]	2.4±3.3 ^a	3.8±4.1 ^a	1.8±3.0 ^a	4.3±4.3 ^a	2.3±3.9^a	5.7±5.6^b
Sensibilité aux herbicides (Blé)	2.6±1.0^a	4.2±0.9^a	3.5±0.3 ^a	4.1±0.6 ^a	3.9±0.3 ^a	4.2±0.2 ^a
Sensibilité aux herbicides (Colza)	3.0±1.8 ^a	3.5±1.1 ^a	2.8±1.3 ^a	3.8±1.0 ^a	3.0±0.9^a	3.8±1.0^b
Blé d'hiver	↗	↘	↗	↘	↗	↘
Degrés de spécialisation						
global [14,3-142,3]	40.2±26.2 ^a	47.9±26.7 ^a	30.0±12.4^a	54.9±25.9^b	36.1±15.4 ^a	47.0±20.3 ^a
aux cultures [0,6-3,2]	1.4±0.8 ^a	1.4±0.5 ^a	0.9±0.3^a	1.6±0.6^b	1.3±0.6 ^a	1.3±0.6 ^a
au pH [0,2-2,2]	0.8±0.5 ^a	0.7±0.3 ^a	0.6±0.3 ^a	0.8±0.3 ^a	0.7±0.2 ^a	0.6±0.3 ^a
au Colza [0-32,4]	7.6±7.6 ^a	2.0±2.2 ^a	4.9±3.1 ^a	2.7±2.2 ^a	6.1±7.5 ^a	3.1±2.7 ^a
au Blé [0-21,2]	5.3±3.5 ^a	3.9±4.0 ^a	6.0±4.3 ^a	5.1±4.3 ^a	3.2±3.5 ^a	6.7±7.0 ^a
Sensibilité aux herbicides (Blé)	3.6±0.6 ^a	4.4±0.7 ^a	4.0±0.8 ^a	4.5±0.7 ^a	4.5±0.6 ^a	4.0±1.1 ^a
Sensibilité aux herbicides (Colza)	3.4±1.5 ^a	3.2±1.2 ^a	3.2±1.2 ^a	3.1±1.2 ^a	3.7±1.5 ^a	3.5±1.6 ^a

Légende. ↗ : en progression ; ↘ : en régression. Les valeurs mises en gras dans le tableau ressortent comme significatives au risque 5% (test de Wilcoxon). Les nombres entre crochets indiquent les bornes (min, max) des indices pour l'ensemble des espèces adventices.

Pour le colza, les coordonnées des espèces en régression et en progression dans l'ACCp pour la variable 'profondeur de labour' diffèrent significativement dans la région E (test de Student, t = 2.129, p-value = 0.05) avec une association des espèces en progression aux TCS et/ou au non-labour (Figure 3). Aucune différence n'est détectée pour le blé.

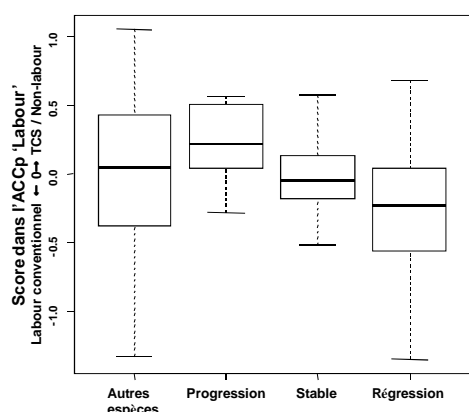


Figure 3 : 'Boxplot' représentant la distribution des espèces le long de l'axe de l'ACC partiel analysant l'effet Labour en fonction de leur statut dans la flore du colza en région E.

Boxplot showing species distribution along the axis of the pCCA analyzing the effect of ploughing depth according to their status in oilseed rape within the eastern France area.

DISCUSSION

LE COLZA : UNE PORTE D'ENTREE POUR DE NOUVELLES ADVENTICES EN BLE D'HIVER

Cette analyse comparative des changements de flore du colza et du blé révèle que dans les années 1970, la flore du colza était relativement proche de celle du blé d'hiver (Fig. 1). Dans les années 1970,

les programmes herbicides spécifiques au colza, relativement récents, n'avaient probablement pas encore exercé d'impact. Par la suite, blé et colza n'ont eu que peu de molécules herbicides en commun. A partir des années 70, le benzoylprop-éthyl (graminées annuelles) et l'isoxaben (dicotylédones annuelles) ont été utilisés pendant une dizaine d'années (Guillemin *et al*, 2010 ; Chauvel *et al*, dans ce colloque). Potentiellement, le clopyralid (antidicotylédones, plus *Cirsium arvense*) a été utilisé pendant 20 ans sur les deux cultures, mais c'est plus particulièrement la trifluraline, par son spectre plus large, homologuée de 1973 à 2004, qui aurait pu concourir à une homogénéisation des flores entre les deux cultures.

Les trente dernières années sont marquées par une spécialisation accrue de la flore du colza, avec la progression de plusieurs géraniums, Brassicacées et Astéracées (cf. Fried *et al*, 2013 pour une liste d'espèces plus détaillée). Ce résultat avait déjà été identifié pour la flore du tournesol (Fried *et al*, 2009) et peut sembler logique dans une gestion de la flore par des herbicides qui sont moins efficaces en cas de proximité morphologique et/ou physiologique (et donc botanique) entre la culture et les espèces adventices. Néanmoins, ce n'est pas un phénomène généralisé comme en atteste la flore du blé qui a plutôt eu tendance à s'homogénéiser avec celles des autres cultures, et où, hors cas de résistance, il n'y a pas eu de sélection générale vers des espèces tolérantes aux herbicides du blé.

Les différences entre ces deux cultures pourraient s'expliquer par les pratiques phytosanitaires et par les rotations dans lesquelles sont insérés blé et colza. Avec 25 molécules encore homologuées en France (avec de nombreuses associations), le blé est, avec le maïs, la culture qui possède le plus de solutions chimiques. La gamme herbicide du colza est restreinte à une dizaine de molécules (Chauvel *et al*, dans ce colloque) avec durant plusieurs décennies une forte prédominance de la trifluraline. Logiquement la seconde situation est plus susceptible de favoriser quelques espèces tolérantes à cette matière active. Par ailleurs, la proportion de cultures estivales (Tableau I) est en moyenne plus de deux fois plus importante avant un blé d'hiver (de 24 à 42% selon les régions) qu'avant un colza (de 10 à 16%), généralement inséré dans une rotation hivernale de type colza-blé-orge et jamais précédé immédiatement par une culture estivale. La plus grande diversité des cultures (betterave, maïs, tournesol) et des modes de désherbage associés aux précédents culturels du blé permettrait de mieux contrecarrer la sélection d'espèces spécialistes à germination automnale. Au sein même du colza, la spécialisation accrue de la flore dans l'Est par rapport à l'Ouest (Tableau III) pourrait, là encore, s'expliquer par la fréquence moins importante de cultures estivales et le retour plus fréquent du colza dans la rotation (Fried et Reboud, 2007b).

Malgré cette spécialisation, par rapport à la flore des autres grandes cultures, celles du blé et du colza restent assez similaires (Fig. 1) et en tant que précédent cultural du blé, le colza influence probablement directement la flore du blé qui lui succède. Ainsi les blés actuels ont une part commune avec la flore du colza plus élevée que dans les années 1970s notamment dans l'Est. Des espèces plutôt bien contrôlées dans le blé d'hiver, comme *G. dissectum* ou *Viola arvensis*, sont néanmoins en progression dans cette culture, du fait d'un manque de contrôle dans le précédent colza. Le colza semble donc avoir constitué une voie d'entrée (ou de retour) pour ces espèces et il peut également assurer un « refuge » à certaines espèces en régression dans les céréales, comme certaines messicoles. Ainsi, les mâches (*Valerianella* spp.), très bien contrôlées dans les blés ($IC_{esp}(blé)=1,00$) où elles sont plutôt en régression à l'échelle nationale, semblent profiter d'un faible contrôle dans le colza ($IC_{esp}(colza)=0,46$), ce qui leur permettrait de mieux se maintenir dans les blés de l'Est. Plus généralement, on note une tendance à la sélection de spécialistes du colza dans le blé d'hiver (Tableau III), en particulier dans l'Est où cette spécialisation est marginalement significative, tandis que l'inverse n'est pas vrai (les espèces progressant dans les colzas de l'Ouest sont même moins spécialistes du blé que celles en régression).

Ces différents résultats illustrent l'influence réciproque entre cultures ayant une date de semis proche et entrant dans les mêmes rotations. Ainsi, via le colza, certaines espèces ont pu investir (ou réinvestir) les parcelles cultivées et y développer un stock de semences s'exprimant par la suite dans d'autres cultures de la rotation dont le blé d'hiver, culture qui aurait peut-être été plus difficilement colonisée directement depuis les bordures. Plusieurs résultats indiqueraient en effet une

perméabilité plus importante de la culture du colza par rapport au blé. Ainsi, le nombre moyen d'espèces dans les zones non-traitées du colza (de 6 à 10 espèces selon la région) est près de deux fois plus importantes que dans les zones non-traitées du blé d'hiver. Sur 30 ans, cette perméabilité se serait aussi traduite par des turnovers plus élevés : 33-45% contre 14-29% dans le blé (Tableau II).

QUELS ENSEIGNEMENTS PEUT-ON TIRER DE CES CHANGEMENTS FLORISTIQUES ?

Quatre leçons, utiles aux malherbologues comme à l'agriculteur, peuvent être tirées de cette analyse.

(1) Les valeurs de sensibilité aux herbicides ne capturent que partiellement les changements de flores. Le paragraphe précédent démontre clairement que le statut des espèces dans une culture ne dépend pas uniquement des pratiques (dont les herbicides) dans cette culture mais également des pratiques dans les autres cultures de la rotation (ex. : progression de *G. dissectum* et *Viola arvensis* dans le blé du fait de leur sélection/spécialisation dans le colza). Ainsi pour réussir dans un colza inséré dans une rotation colza-blé-orge, être tolérant aux herbicides du colza ne suffit pas nécessairement, et être tolérant aux herbicides du blé peut également être avantageux (cf. Tableau II, région E). Cela illustre parfaitement la nécessité de réfléchir la gestion des adventices à l'échelle de la rotation.

(2) Ces résultats incitent à analyser les futurs changements par type de rotation plutôt que par culture. Ainsi, si les bilans à l'échelle nationale restent justifiés par la plus grande puissance des analyses statistiques, la présente étude souligne l'intérêt de détailler les analyses des changements de flore par bassin de production où des systèmes de cultures et des itinéraires techniques différents aboutissent à des changements selon des trajectoires parfois nettement différentes (cf. colzas dans l'Est versus dans l'Ouest). On peut citer en particulier l'adoption des TCS, particulièrement dans l'Est (et dans le Bassin parisien) qui est venu modifier le filtre 'travail du sol' et a contribué à sélectionner des espèces particulières (*Bromus sterilis*, *Lolium* spp., *Cirsium arvense*) aujourd'hui en progression.

(3) Les données compilées par le réseau BF permettent de bâtir des indicateurs plus intégrateurs que la seule sensibilité aux herbicides pour identifier des spécialistes d'une culture. Ainsi la méthode IndVal identifie statistiquement les espèces plus fréquentes et abondantes dans une culture par rapport aux autres sans aucun *a priori* sur les facteurs responsables de cette spécialisation. Si le manque de contrôle des espèces, auquel participe la sensibilité aux herbicides, a joué un rôle, d'autres éléments ayant un effet partiel, ont pu interagir, comme un pic de levée positionné autour des dates de semis d'août à début septembre, ou encore la capacité de compétition notamment pour la lumière en fonction de l'architecture du colza (Gunton *et al*, 2011). L'intégration de l'ensemble des facteurs dans un seul index de spécialisation à une culture peut en faire un outil utile à la gestion qui permet rapidement à l'agriculteur d'identifier dans une situation donnée si le système de culture mis en place aura tendance à favoriser quelques spécialistes potentiellement difficilement contrôlables.

(4) Une des difficultés d'analyse de la flore adventice réside dans la superposition de filtres aux effets parfois opposés et agissant à différentes échelles de temps et d'espace. Pour la flore du colza, sur l'ensemble de leur niche agro-écologique (mêlant effets des cultures, des pratiques et de l'environnement) aucune tendance vers la sélection d'espèces à large niche (généralistes) ou à niche restreinte (spécialistes) n'a été détectée au sein des trois régions étudiées. En revanche, en décomposant le degré de spécialisation selon deux axes principaux (culture *versus* sol), on met en évidence à la fois une spécialisation de la flore au colza mais aussi une homogénéisation de la flore par rapport au type de sol avec une régression des espèces spécialistes de sols filtrants (*Spergula arvensis*, *Arabidopsis thaliana*, etc.). Cette échelle d'analyse semble plus adaptée pour faire émerger des règles générales et cohérentes avec des filtres agissant dans un sens opposé.

CONCLUSION

Une gestion raisonnée de la flore adventice visera à ne pas sélectionner d'espèces dominantes hyper-adaptées au système de culture en place. Parallèlement aux indicateurs Ecophyto (IFT), le degré de spécialisation aux cultures pourrait être un bon indicateur à suivre pour évaluer l'efficacité des stratégies de gestion, une spécialisation accrue traduisant une difficulté à en assurer le contrôle. La poursuite de l'analyse des données du réseau Biovigilance Flore devrait aussi permettre d'identifier les liens entre diversité des rotations (et plus généralement des pratiques) et degré de spécialisation et structure

d'abondance des flores. Cela pourrait aboutir à identifier quelques alternatives ayant un potentiel pour contrecarrer en permanence la sélection d'espèces spécialistes adaptées et réduire ainsi la dépendance aux produits phytosanitaires. Dans ce contexte, on peut s'interroger sur l'effet de l'introduction de nouvelles variétés résistantes à des herbicides à mode d'action que l'on retrouve dans toute la rotation, qui pourrait faire disparaître l'un des atouts de la rotation qui, au-delà de faire varier les dates de semis introduit la possibilité d'utiliser des herbicides avec d'autres modes d'action. Cette situation rappelle aussi la nécessité de poursuivre le suivi des adventices dans le cadre d'un réseau d'épidémiologie.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient tous les acteurs du réseau : agriculteurs, agents en charge des relevés ainsi que la DGAL qui a financé l'action Biovigilance Flore. Certains développements méthodologiques utilisés ici ont fait l'objet d'un soutien financier particulier notamment par l'ANR lors du projet 'Vigiweed'.

BIBLIOGRAPHIE

- Barralis G., 1977 - *Répartition et densité des principales mauvaises herbes en France*. INRA – SFPP. Paris, 19p.
- Colbach N., Granger S., Mézière D., 2013 - Using a sensitivity analysis of a weed dynamics model to develop sustainable cropping systems. II. Long-term effect of past crops and management techniques on weed infestation. *The Journal of Agricultural Science*, 151, 247-267.
- Dufrêne M., Legendre P., 1996 - Species assemblages and indicator species: the need for a flexible asymmetrical approach. *Ecological Monograph*, 67, 345-66.
- Fried G., Reboud X., 2007a - Au-delà du simple constat, comment analyser et prévoir les évolutions de la flore adventice ? AFPP – 20ème Conférence du COLUMA, Dijon (France) - 11 et 12 Décembre 2007. 367-376.
- Fried G., Reboud X., 2007b - Evolution de la composition des communautés adventices des cultures de colza sous l'influence des systèmes de cultures. *Oléagineux, Corps gras, Lipides*, 14, 130-138.
- Fried G., Bombarde M., Delos M., Gasquez J., Reboud X., 2005 - Les mauvaises herbes du maïs : ce qui a changé en 30 ans. *Phytoma - La défense des végétaux*, 586, 47-51.
- Fried G., Reboud X., Gasquez J., Delos M., 2007. Le réseau « Biovigilance Flore » : Présentation du dispositif et première synthèse des résultats. AFPP – 20ème Conférence du COLUMA, Dijon (France) - 11 et 12 Décembre 2007. 11 et 12 Décembre 2007 : 315-325.
- Fried G., Chauvel B., Reboud X., 2009 - A functional analysis of large-scale temporal shifts from 1970 to 2000 in weed assemblages of sunflower crops in France. *Journal of Vegetation Science*, 20, 49-58.
- Fried G., Petit S., Reboud X., 2010 - A specialist-generalist classification of the French arable flora and its response to changes in agricultural practices. *BMC Ecology*, 10, 20.
- Fried G., Chauvel B., Rodriguez A., Jullien J., Reboud X., 2013 - Biovigilance flore adventice : le point dans trois bassins de production de colza. *Phytoma - La santé des végétaux*, 664, 8-14.
- Gaba S., Fried G., Kazakou E., Chauvel B., Navas M.-L., 2013 - Agroecological weed control using a functional approach: a review of cropping systems diversity. *Agronomy for Sustainable Development* (accepté).
- Guillemin J-P., Bonduelle D., Juillet S., Lakhmi A., Mazel M., Gasquez J., Chauvel B., 2010 - Histoire de l'utilisation des herbicides sur deux grandes cultures en France. AFPP – 21ème Conférence du COLUMA, Dijon (France) – 8 et 9 Décembre 2010. 506-513. CD Rom ISBN 978-2-905550-21-7
- Gunton R., Petit S., Gaba S., 2011 - Functional traits relating arable weed communities to crop characteristics. *Journal of Vegetation Science*, 22, 541-550.
- Julliard R., Clavel J., Devictor V., Jiguet F., Couvet D., 2006 - Spatial segregation of specialists and generalists in bird communities. *Ecology Letters*, 9, 1237-1244.