



HAL
open science

Que nous disent les réseaux d'observatoires sur les réactions de la flore adventice aux évolutions des pratiques agricoles ?

Xavier Reboud, Sabrina Gaba, Benjamin Borgy, Mathieu Bonneau, M. Délos, Guillaume Fried

► To cite this version:

Xavier Reboud, Sabrina Gaba, Benjamin Borgy, Mathieu Bonneau, M. Délos, et al.. Que nous disent les réseaux d'observatoires sur les réactions de la flore adventice aux évolutions des pratiques agricoles ?. Innovations Agronomiques, 2013, 28, pp.127-140. hal-01190467

HAL Id: hal-01190467

<https://hal.science/hal-01190467>

Submitted on 1 Sep 2015

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

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



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

Que nous disent les réseaux d'observatoires sur les réactions de la flore adventice aux évolutions des pratiques agricoles ?

Reboud X.¹, Gaba S.¹, Borgy B.^{1,5}, Bonneau M.^{1,3}, Délos M.², Fried G.⁴
avec la collaboration du réseau Biovigilance Flore

¹ INRA, UMR1347 Agroécologie, Pôle Ecologie des communautés et Systèmes agricoles durables, 17 rue Sully, 21000 Dijon, France

² DRAAF- SRAI, Cité Administrative- Bat E, Bd Armand Duportal 31074 Toulouse Cedex, France

³ INRA, Unité de Biométrie et Intelligence Artificielle, 24 Chemin de Borde Rouge, Auzeville, CS 52627, 31326 Castanet Tolosan Cedex, France

⁴ ANSES, Laboratoire de la Santé des Végétaux, Unité Entomologie et Plantes invasives, CBGP – Campus international de Baillarguet, CS 30016, 34988 Montferrier-sur-Lez Cedex, France

⁵ CNRS, Centre d'Ecologie Fonctionnelle et Evolutive, UMR 5175, 1919, Route de Mende, 34293 Montpellier, France

Correspondance : xavier.reboud@dijon.inra.fr

Résumé

La flore adventice présente dans les parcelles de grande culture a été profondément modifiée par l'évolution de l'agriculture au cours des dernières décennies. De manière concomitante à une baisse globale du nombre d'espèces et d'individus par parcelle, de nouvelles espèces ont émergé jusqu'à devenir pour certaines d'entre elles, de nouveaux problèmes. Si ce type de constat est à la portée des dires d'experts, pour quantifier plus finement ces évolutions et les relier aux pratiques culturales, les réseaux d'observatoires s'avèrent une source incomparable d'informations. Des développements sont en cours qui visent à ce que le réseau serve de support à des modélisations permettant de relier plus directement les risques phytosanitaires aux choix de conduite des cultures. Dans la continuité de l'article Fried *et al.* (2008) dans cette même revue, cet article fait le point sur les connaissances acquises via le réseau Biovigilance-Flore entre 2002 et 2010 sur 1440 parcelles et 722 communes en France métropolitaine. Il présente aussi les développements récents.

Mots-clés : relevés, mauvaises herbes, modélisation statistique, prévisions, traits fonctionnels, impact environnemental

Abstract: What the observatory networks can teach us about weeds reaction to the evolution of agricultural practices?

The weed flora from different major crops in France has changed drastically in its species composition over the last decades. To go beyond a simple expert assessment of changes observed in the field, large scale evaluations are required to precisely quantify this evolution and identify the conditions in which the changes are more pronounced. The analysis of such large scale datasets requires the development of adequate methodological tools that will allow to propose and test the causal effects of the adoption of new agricultural practices on the weed flora. The implementation of such analytical framework on large field-scale surveys enables to better assess the consequences of agricultural choices. It may also help to identify, among several options of crop protection, those that could present the best compromise between production, environment and sanitary impacts.

Keywords: weed, survey, functional traits, modeling, global tendency, response to agricultural practices

Introduction

La flore adventice de chaque parcelle est unique car à la fois propre à une région et son pédo-climat, mais aussi à un historique de culture complexe incluant des pratiques de désherbage chimique et/ou mécanique, des façons culturales et parfois des erreurs de gestion passées. Toutefois, la flore évolue sur le moyen terme et le long terme avec la progression de certaines espèces qui étaient rares mais maintenant favorisées par la mise en place de nouveaux systèmes de culture, et finissent par poser problème. De façon symétrique, des innovations peuvent entraîner un déclin rapide d'espèces autrefois communes. Aussi, les observatoires permettent-ils de suivre ces évolutions. Mis en réseau, les observatoires orientent la surveillance vers quelques espèces ciblées et identifient les systèmes de cultures les plus concernés.

En réunissant de quoi bâtir un jeu de références, un réseau de biovigilance de la flore permet aussi de décrire dans toute sa diversité l'interaction « système de culture x flore » nécessaire pour prédire une communauté probable d'espèces adventices sur une parcelle sachant les pratiques agronomiques. En confrontant flore observée et flore virtuelle attendue, il devient partiellement possible d'analyser dans quelles conditions les différentes espèces viennent ou non à poser un problème. Ainsi, idéalement, l'épidémiologie-surveillance appliquée aux adventices peut elle aussi favoriser le choix des pratiques qui semblent à éviter ou, au contraire, appropriées pour gérer la flore adventice sur le moyen terme.

Les adventices présentent les caractéristiques de déplacements relativement limités des populations établies et d'expression des levées étalées sur plusieurs saisons. L'effet tampon d'un stock de graines dormantes dans le sol conduit à ce que la flore adventice soit temporellement plus stable ou prévisible que les maladies ou les insectes sous contraintes comparables - son évolution est moins dépendante de l'équilibre « climat x contexte de culture » que pour l'abondance et la dynamique saisonnière des insectes ou des maladies. De plus, l'étalement des levées sur plusieurs saisons génère des effets de dilution, des effets cumulatifs, des réponses non linéaires et d'origines multifactorielles de la démographie dans chaque parcelle. Il y a par conséquent peu d'intérêt à vouloir construire des avertissements agricoles en cours de saison. L'effet retard et fractionné du stock rend aussi difficile l'analyse de la relation de cause à effet entre une pratique et la réponse d'une flore composite. Il conduit à ce que les contrôles préventifs et curatifs en viennent à se confondre et, du fait de la déconnexion temporelle entre l'application d'une pratique et son bénéfice sanitaire éventuel, à accroître globalement l'aversion au risque de perte de contrôle d'une partie de la flore.

Beaucoup de méthodologies d'analyse restent à imaginer et à construire pour mieux relier les pratiques à leur conséquence sur la flore hébergée. Nous en avons fait un objectif de nos recherches. Nous commencerons donc par une synthèse de ce que nous avons appris grâce au réseau Biovigilance Flore, avant de présenter succinctement deux développements concernant, les choix d'échantillonnage et l'extraction par des approches de type chaîne de Markov cachée de paramètres pertinents et difficilement accessibles par expérimentation.

Matériel et méthodes

Biovigilance flore

En France, il n'existe pas beaucoup de jeux de données accessibles réunissant les collectes de terrain. Les premiers travaux de recherche à grande échelle ont d'abord utilisé les témoins des essais désherbage (Barralis, 1977 ; Orlando *et al.*, 1992 ; Reboud *et al.*, 2003). Depuis 2000, sous l'égide du ministère en charge de l'agriculture, un réseau de biovigilance a été lancé qui recouvre différents suivis dont un spécifique à la flore : Biovigilance-Flore. Ce réseau a pris une nouvelle forme depuis 2012 (suivi de la flore des bords de champs) mais entre 2002 et 2010, il a réuni entre 268 et 814 relevés par an pour un total de 5 428 relevés en France métropolitaine distribués sur 1 440 parcelles et 722 communes essentiellement dans les zones en grande culture. Le protocole visait un sur-

échantillonnage des pédo-climats et des cultures dans chacune des régions avec en théorie 20% de renouvellement pour 80% de points fixes. Dans une parcelle, les méthodes de relevés pratiquées recouvraient deux dates et deux zones : l'une dans la parcelle, l'autre dans une zone ayant reçu toutes les pratiques à l'exception des traitements herbicides à même de mieux faire ressortir l'expression du potentiel issu du stock de graines dans le sol (Fried *et al.*, 2007).

Méthodes d'analyse

Prévoir l'évolution des flores selon l'adoption ou non d'une pratique reste un pari ardu car le système de production est en permanente évolution ; des innovations dans les pratiques agricoles s'emboîtent, se télescopent et interagissent sur différents pas de temps et d'espace. Pouvoir analyser chaque facteur de manière indépendante des autres revient à isoler une dimension d'un espace multidimensionnel (multivarié) qui lui soit propre. Ainsi, d'un point de vue pratique, la taille du jeu de données doit évoluer comme le produit des dimensions traitées. Vouloir par exemple, doubler sa précision sur l'ensemble des p dimensions traitées nécessite d'accroître le jeu de données d'un facteur 2^p . Spéculation théorique, elle n'en montre pas moins une limite de ce que l'on pourra établir avec une certaine puissance statistique. Ceci prône pour la poursuite d'une normalisation des mesures permettant la fusion de l'ensemble des bases dans un jeu de données le plus important possible. Les statistiques auxquelles nous avons fait appel de manière régulière recoupaient des analyses multivariées, des méthodes de ré-échantillonnage des données pour construire les courbes de densité de probabilité sous la relaxe d'une hypothèse sur un lien à un facteur et des approches de chaînes de Markov cachées.

1. Quelques connaissances majeures issues des réseaux d'observatoires de la flore adventice

1.1 Les flores adventices reflètent l'interaction entre un sol, un climat et des pratiques et elles changent rapidement

En France, la flore adventice présente dans les parcelles de grandes cultures recouvre plusieurs centaines d'espèces dont seule une fraction est commune à très commune. Sur l'ensemble du jeu de données de Biovigilance-Flore soit 352 espèces différentes, seules huit espèces sont présentes dans plus d'un relevé sur 4 ; 27 espèces ont une fréquence dans la fourchette de 10 à 25%, 26 dans la fourchette 5 - 10%, 101 entre 1 et 5% et 188 soit plus de la moitié des espèces une fréquence inférieure à 1%.

En creusant l'analyse de la relation entre la flore et les facteurs à notre disposition, le réseau permet de quantifier la contribution relative de différents facteurs anthropiques ou non aux variations observées. Ainsi, le choix de la culture et le précédent cultural, définissant ensemble une fraction de succession culturale, « expliquent » la plus forte variation de composition de la flore (30% des variations), soit trois fois plus que le pH du sol ou le niveau de précipitation annuel (10%) et six fois plus que la température moyenne (5%). Autrement dit, on attend plus de variations entre deux parcelles au sein d'une région qu'entre deux conduites similaires de deux régions différentes (Fried *et al.*, 2008).

Ainsi via les graines produites et stockées dans la banque de semences du sol, les effets des pratiques successives peuvent se cumuler et la flore des parcelles peut évoluer sur le moyen terme et plus encore le long terme. Certaines espèces encore rares il n'y a de cela que quelques décennies finissent par poser problème car favorisées par les systèmes de culture (Fried *et al.*, 2009). Parallèlement, à l'échelle intraspécifique, les résistances aux pesticides sont un cas particulier d'évolution génétique en lien avec l'utilisation récurrente et non inscrite dans une pratique complexe de gestion de la flore (alternance de différentes familles chimiques, combinaison à d'autres moyens de gestion). Ainsi, la sélection exercée par les moyens de lutte se fait entre espèces comme au sein de chaque espèce. La

comparaison entre saisons successives laisse l'image d'un ensemble régi par une spirale dynamique de facteurs. A large échelle, les changements des flores adventices sont remarquables à la fois par leur vitesse et leur intensité. L'intérêt d'un réseau d'observatoires est d'être en mesure de faire remonter ces informations et de les rapprocher de l'évolution des pratiques ou des systèmes de culture les plus fortement affectés.

1.2 Comment se façonnent les flores sous le poids de leur histoire et de quelques grandes règles ?

Lorsque l'on introduit une situation radicalement nouvelle, telle qu'une nouvelle culture associée, à des pratiques spécifiques, la flore adventice qui se développe se compose de la flore de la culture la plus proche, notamment en terme de date de semis (Figure 1). Ainsi, nous avons pu montrer que dans ses débuts, la flore présente dans les tournesols en France métropolitaine contenait majoritairement des espèces rencontrées en culture de betterave. Ces espèces sont « naïves » vis-à-vis de cette nouvelle situation. Leur réussite est perfectible par bien des aspects, aussi cette flore se fait-elle progressivement dominée par une flore plus spécialisée, soit déjà présente dans l'environnement des parcelles, soit introduite via la contamination des semences à partir de zones ayant un historique plus ancien de cette culture, notamment issues de la zone d'origine. Les cultures de maïs et de tournesol sont ainsi fortement colonisées par des adventices « néophytes » originaires du continent américain (Maillet et Lopez-Garcia, 2000 ; Pysek *et al.*, 2005 ; Fried *et al.*, 2006).

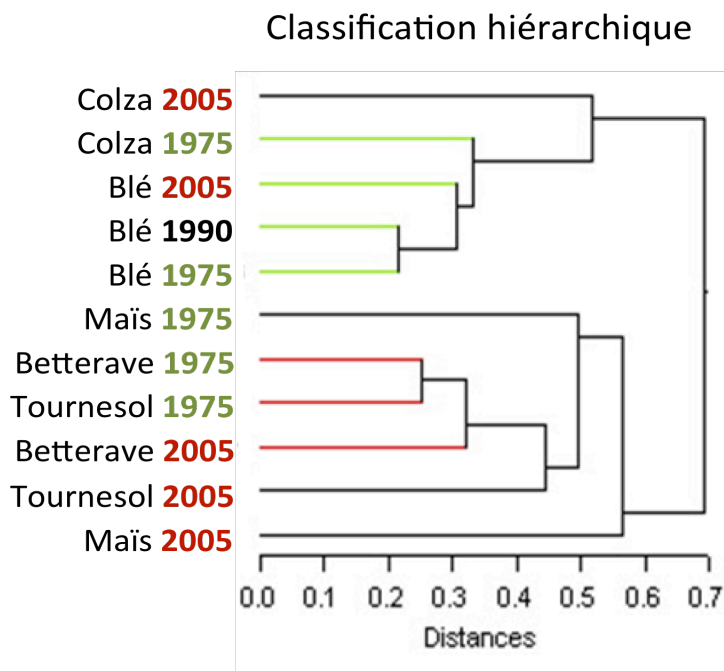


Figure 1 : Arborescence de similarité des flores adventices en 1975 et 2005. Sur un jeu de données couvrant des dizaines de parcelles il est possible de comparer les flores. Deux cultures ayant des flores proches seront comme deux branches très proches et se séparant le plus à gauche dans cette représentation. L'originalité de l'arbre présenté ici est qu'il mélange des relevés réalisés à deux périodes contrastées (trois pour le blé avec un point intermédiaire en 1990). Il est donc possible de visualiser comment la flore d'une culture donnée « a bougé ». On constate ainsi aisément que le maïs a une flore très différente entre les deux périodes et que le tournesol enracine sa flore proche de celle de la betterave à cette même date tandis que la flore du blé est restée très stable. La flore du colza en 1975 s'y rattache pour s'en distinguer progressivement.

Avec le temps, les espèces présentant le profil d'affinité adéquat ont eu la possibilité de coloniser largement l'ensemble du territoire emblavé avec cette culture. Aussi, ces espèces sont-elles globalement observées à des fréquences élevées. En quelque sorte, elles occupent maintenant durablement les premières places d'un classement par ordre décroissant des 25 espèces les plus fréquentes dans les relevés réalisés dans cette culture. En corollaire, une flore est donc d'autant plus figée que la mise en culture ainsi que la conduite en sont anciennes. Ainsi, les cultures de betterave et blé en France sont plus stabilisées que celles du colza et du tournesol, deux cultures marginalement semées avant la décision de doter l'agriculture française d'une autonomie vis-à-vis de tourteaux importés. Ceci se retrouve dans l'intensité du turnover des communautés adventices associées à ces différentes cultures : alors que l'on observe l'entrée d'une espèce tous les 4,3 ans en moyenne dans le top 25 du blé ou de la betterave, on monte à 1 espèce toutes les 2,7 années dans le top 25 du colza et du tournesol et même 1,6 année en maïs ! Autrement dit, à l'échelle de la France chaque deux-fois que l'on cultive du maïs, la flore a statistiquement changé d'au moins une espèce majeure.

Deux phénomènes contradictoires en apparence tendent à coexister qui façonnent aussi les flores : d'une part, à l'échelle d'un territoire et toutes cultures confondues on constate que les flores ont eu tendance à s'homogénéiser. Depuis les années 1970, les espèces généralistes, capables de produire des graines dans une large gamme de conditions, ont globalement plus progressé que les espèces spécialisées (Fried *et al.*, 2010). Une analyse plus fine de contraste entre plusieurs dimensions confirme que certaines espèces sont spécialisées par un filtre « conditions écologiques » (sol, climat) quand d'autres le sont par un filtre « culture et pratiques associées » (Figure 2). Ces spécialistes de conditions culturales ont plutôt eu tendance à augmenter du fait de systèmes de culture simplifiés avec un retour plus rapide de la même culture dans la rotation (cas du colza (Fried et Reboud, 2007) ou du tournesol (Fried *et al.*, 2009)). A cet égard, l'analyse de la distribution des espèces généralistes et spécialistes dans la culture du maïs montre clairement l'intérêt des rotations pour éviter de fixer des spécialistes dont la fréquence augmente en monoculture. D'autre part, on montre par une approche fonctionnelle appliquée aux données de Biovigilance que les caractéristiques de la culture telles que la date de semis permettent de synthétiser les grandes lignes du système de culture associé et d'expliquer le succès de la flore qui en partagera le mieux l'ensemble des traits (Gunton *et al.*, 2011). Plus généralement, ce type d'approche fonctionnelle permet de définir, au-delà des espèces particulières rencontrées au sein de l'observatoire, le contour des traits favorisés dans une situation donnée (Fried *et al.*, 2009 ; Fried *et al.*, 2012). En gagnant ainsi en généralité, il devient possible de « dresser le portrait robot » des espèces qui risquent d'être favorisées si une pratique se perpétue dans le temps.

Entre 1970 et aujourd'hui, les flores se sont globalement appauvries et clairsemées à l'échelle des parcelles. Il faut voir cela comme une résultante logique des effets du désherbage intensif et autres pratiques associées (Fried *et al.*, 2009). Toutefois, les bordures des parcelles (Fried *et al.*, 2009) et les paysages complexes (Gaba *et al.*, 2010 ; Petit *et al.*, 2011) maintiennent une diversité floristique plus élevée que la moyenne sans recouvrir toutefois la même composition qu'à l'intérieur des parcelles (Cordeau *et al.*, 2012).

Tirant partie du dispositif mis en place dans Biovigilance-flore, nous avons pu conduire l'analyse de la co-occurrence des abondances des espèces adventices présentes au sein des parcelles. On décèle l'existence de règles d'assemblage des espèces affectant leurs abondances respectives : aux densités faibles et moyennes, les abondances respectives des différentes espèces montrent une corrélation positive et contraire aux attendus du processus densité-dépendant de compétition ; la communauté se trouve plus régulée par les pratiques, le degré d'exigence de l'agriculteur et le pool de ressources disponibles que par les limites d'un environnement agricole globalement favorable (niveau élevé de ressources nutritives) et majoritairement vide (au moins pendant les phases d'installation de la végétation). Il faut que l'espèce majoritaire dépasse une densité de 20 pieds/m² pour que l'on retrouve les traces d'une interaction négative entre adventices se traduisant par une inflexion des densités cumulées vers leur saturation et une diversité floristique plus réduite qu'attendue (Borgy *et al.*, 2012).

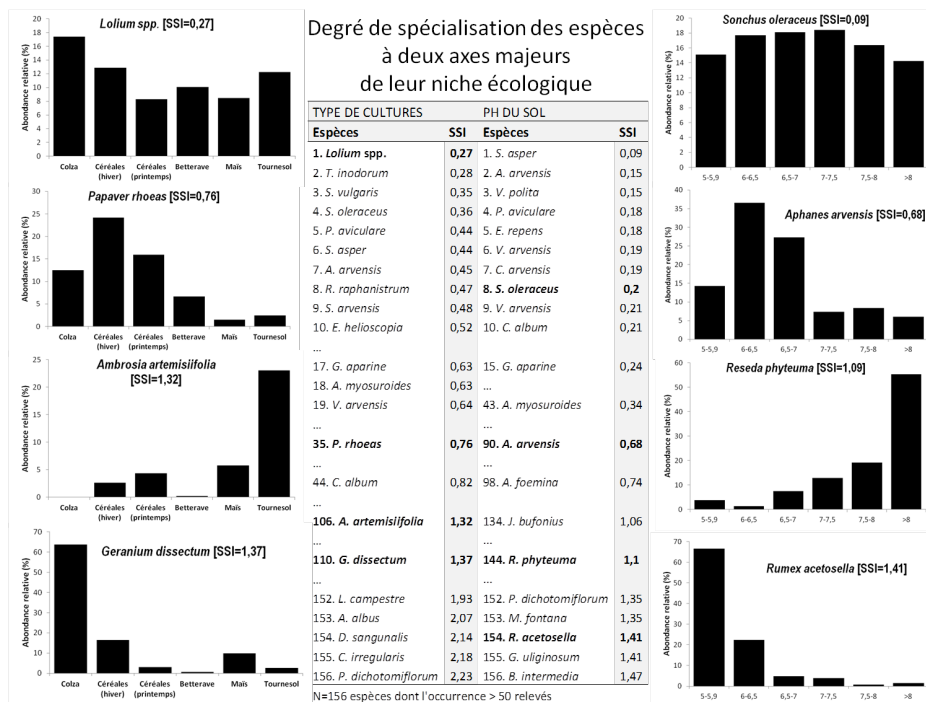


Figure 2 : Degré de spécialisation des adventices à deux axes majeurs de leur niche écologique, le type de culture (à gauche) et le pH du sol (à droite). Les histogrammes représentent la distribution dans le jeu de données Biovigilance-Flore de l'abondance relative de quelques espèces dans les principales cultures et différentes classes de pH. On peut noter que l'abondance de certaines espèces, comme le ray-grass (*Lolium* spp.) pour les cultures, ou *Sonchus oleraceus* pour le pH, est relativement uniforme ; tandis que d'autres espèces montrent un profil de spécialistes d'une culture donnée (tournesol pour l'ambrosie, colza pour le géranium disséqué) ou d'un pH, acide (*Rumex acetosella*) ou basique (*Reseda phyteuma*). A un niveau intermédiaire, des espèces comme le coquelicot (*Papaver rhoeas*) peuvent être qualifiées de généralistes des cultures d'hiver. L'intérêt d'un observatoire comme Biovigilance flore est qu'il permet de quantifier précisément ce degré de spécialisation avec une mesure simple (SSI) correspondant au coefficient de variation de l'abondance, c'est-à-dire au rapport entre l'écart-type et la moyenne de l'abondance dans les différentes classes (cultures ou classes de pH).

Cette analyse des règles gouvernant l'assemblage des adventices entre elles au sein d'une parcelle gagnera à s'étendre plus largement aux interactions que la flore adventice entretient avec d'autres espèces jugées importantes pour le fonctionnement de l'agrosystème, pour leur capacité éventuelle à réguler les flores, pour leur dépendance marquée à cette ressource alimentaire, pour leur simple valeur patrimoniale ou pour les autres risques qu'elles font encourir, notamment sur la qualité sanitaire des récoltes (en particulier fumonisine et aflatoxine). Nous avons entrepris différents travaux en ce sens. Il s'agit là d'une incidence qui rend plus complexe l'évaluation du bénéfice de la gestion des espèces adventices ou de leur impact qui n'est alors plus restreint à un simple critère économique mais aussi sanitaire et environnemental.

2. Approfondissement de l'analyse de la relation entre un système de culture et une flore potentielle ou réalisée

Si la vocation d'un observatoire n'est pas de piloter les pratiques, la diversité des situations malherbologiques et des pratiques associées qui sont décrites dans le réseau permettent néanmoins de distinguer des systèmes de culture où le succès du désherbage semble (plus facilement) compatible avec les objectifs du programme Ecophyto. Dans la suite de cette partie, nous illustrons la démarche que nous essayons d'explorer et d'exploiter.

2.1 Niche réalisée et construction d'une flore potentielle virtuelle

On peut se faire une représentation fictive de la niche réalisée (ensemble des conditions biotiques et abiotiques dans lequel une espèce peut survivre, se maintenir et se reproduire) dans l'espace agro-environnemental des différentes espèces en projetant leur zone d'occupation dans un espace multivarié croisant variables pédoclimatiques et système de culture. Dans cet espace, on visualise les plages compatibles avec la présence de toute espèce pour laquelle on dispose d'une observation et d'une caractérisation complète du site correspondant. Tel que l'illustre la Figure 3 : si la situation que l'on explore est à l'intérieur de l'enveloppe bleue, cela signifie que l'on peut raisonnablement s'attendre à ce que l'espèce bleue fasse partie de la flore potentielle. Inversement, on pourra exclure l'espèce verte de la liste potentielle puisque ce même point serait en dehors du volume vert occupé. Par généralisation, on peut ainsi définir une flore virtuelle associée à tout point de cet espace comme recouvrant la liste des ellipses que ce point recoupe. Outre le problème classique des données manquantes, les limites de cette approche sont i) que l'on fait l'hypothèse non vérifiée que tout l'intérieur de l'ellipse est occupable, ii) que les ellipses réalisées recouvrent les situations existantes à un instant donné sans que l'on sache la stabilité de la représentation ; ainsi tout nouveau système de culture révolutionnaire pourrait fortement déformer cet espace ou ouvrir de nouvelles zones jusqu'ici vacantes, iii) que l'on ne visualise pas de manière directe les interactions biologiques alors que celles-ci sont à même d'affecter les présences et iv) que l'on suppose les caractéristiques des espèces comme relativement fixées, ce qu'elles ne sont pas comme l'illustre l'évolution de populations résistantes aux herbicides.

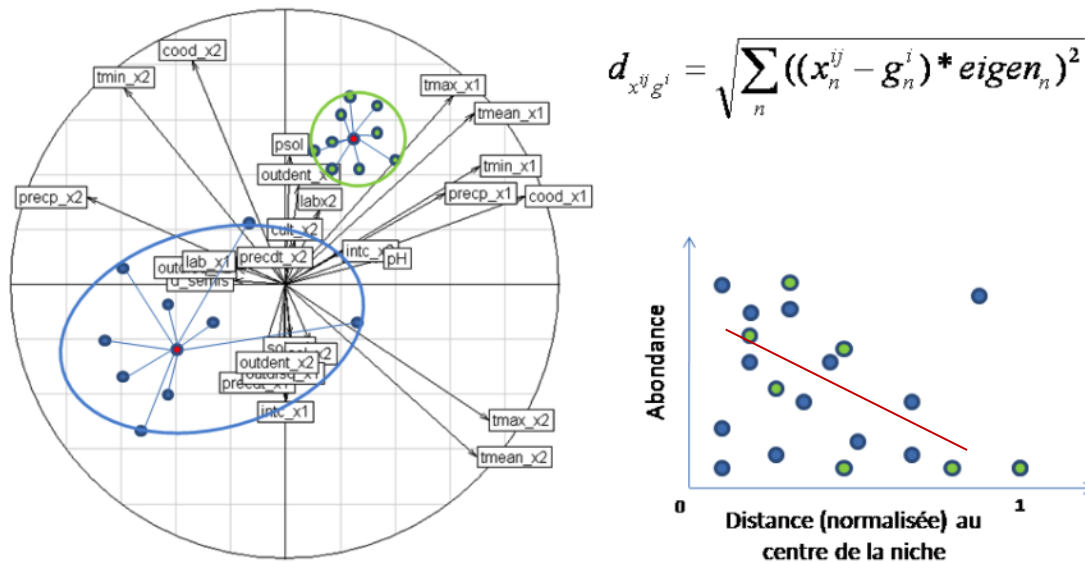


Figure 3 : Représentation de l'espace agroenvironnemental occupé par différentes adventices et relation entre leur abondance et la proximité du cœur de leur niche. L'espace est basé sur les conditions pédoclimatiques et culturelles. Les occurrences des espèces dans cet espace permettent de calculer leur centre de gravité (point rouge) ainsi que l'étendue des conditions compatibles avec leur présence. On distingue ainsi des espèces plus généralistes (ellipse bleue) que d'autres (ellipse verte) et différents degrés d'excentricité (distance au centre de l'espace). Pour chaque espèce i , les distances ($d_{x^j g^i}$) des points j au centre de la niche (g) sont normalisés (divisions par la valeur de distance maximale de l'espèce) et projetées sur un même graphique reliant cette distance normalisée à l'abondance observée (graphique de droite). Outre la caractérisation de la plage potentielle des espèces qui permet de dresser la liste de la flore virtuelle possible dans chaque situation, on peut y adjoindre un degré de risque que les dites espèces soient en limite ou non des conditions qui leur sont favorables ce qui joue cumulativement sur leur abondance.

On peut voir la présence d'une espèce en un lieu comme résultant d'un bilan entre son succès démographique et les pressions auxquelles la population est soumise. Plus les filtres deviennent forts ou le succès reproducteur faible, plus l'espèce aura du mal à s'installer durablement. Ainsi, on s'attend

à ce qu'en limite de niche, où les conditions leur sont plus défavorables, les espèces ne puissent atteindre des abondances élevées. Bien que cette vision statique des conditions agro-environnementales nécessite de fortement dégrader l'information sur l'historique cultural (cf. réduit au précédent) alors que son poids dans la détermination de l'abondance des espèces est par ailleurs, connu pour être important, nous avons testé cette hypothèse. Nous avons pu en vérifier l'exactitude en superposant après normalisation l'ensemble des espèces ; en effet, à l'échelle d'une espèce donnée, la « règle » souffre de nombreuses exceptions. Malgré tout, cela suggère que non seulement on est en mesure de dresser la liste des flores possibles en un point mais que l'on peut même avoir une idée des espèces qui au sein de cette liste, pourraient faire l'objet d'un suivi moins strict car en marge des conditions où elles peuvent exceller (Borgy, 2011).

2.2 Pilotage d'une trajectoire de flore et prévision

Disposant d'un outil de visualisation de l'espace agri-environnemental dans lequel on peut projeter chaque situation il devient aussi possible en théorie, de cerner assez directement sur quels facteurs jouer pour s'éloigner d'une zone de l'espace considérée comme à risque. Ici, le risque serait défini comme la combinaison de la présence d'espèces jugées indésirables. On jouera donc sur les facteurs permettant de conduire à une trajectoire s'éloignant de la zone contenant leurs enveloppes respectives. Typiquement, pour une flore hivernale, cette approche proposera d'introduire, si le contexte agronomique le permet, des cultures de printemps dans la rotation. Plus on rajoutera d'espèces à la liste des indésirables, plus l'espace indésirable sera de grande taille, plus il faudra d'étapes pour quitter cette zone à risque et plus on s'interdit l'usage de certaines solutions. Autrement dit, on sait bien lutter par des méthodes combinant des approches chimiques et non chimiques pour contrecarrer une espèce en s'opposant par différents moyens au déroulement normal de son cycle biologique (Chauvel *et al.*, 2009) mais pas pour en contrecarrer six ou huit. Finalement, cela revient à utiliser le jeu de données issu d'un réseau d'observatoires comme un ensemble de possibles dans lequel naviguer pour piloter la trajectoire de la flore que l'on est le mieux en mesure d'accepter.

Pour aller plus loin, nous avons souhaité extraire les valeurs probables de paramètres de croissance démographique de quelques espèces majeures et se projeter dans les conséquences attendues d'un changement d'assolement sur la base de ces estimations. Ce besoin était suscité par la difficulté à obtenir des estimations fiables par dire d'experts. En effet, s'il est par exemple possible de trouver dans des bases de données des estimations de la dormance des graines d'une espèce donnée, il est par contre beaucoup plus difficile d'accéder à la table donnant l'échelonnement moyen des levées pour cette même espèce. L'usage des approches probabilistes, les chaînes de Markov cachées, permet d'estimer des paramètres démographiques des espèces adventices sachant les actions de gestion appliquées (cf. Figure 4). La robustesse de l'analyse repose sur la diversité sous-jacente des situations couvertes par le réseau d'observations et d'une modélisation appliquée à l'échelle locale (la parcelle) pour déduire des tendances à l'échelle globale (celle du réseau). Par cette approche, on décrit une situation moyenne ressortant comme globalement la plus probable et non chaque situation locale. On reste toutefois limité par la taille de la base de données sur le nombre d'espèces que l'on peut modéliser. Dans le cas détaillé dans la Figure 4, les espèces qui profitent d'un moindre retour du blé sont logiquement les espèces communes des cultures de printemps mais chacune réagit quantitativement de manière plus ou moins marquée et non proportionnelle au changement. De telles quantifications sont généralement hors d'atteinte sur la base des seuls dires d'experts.

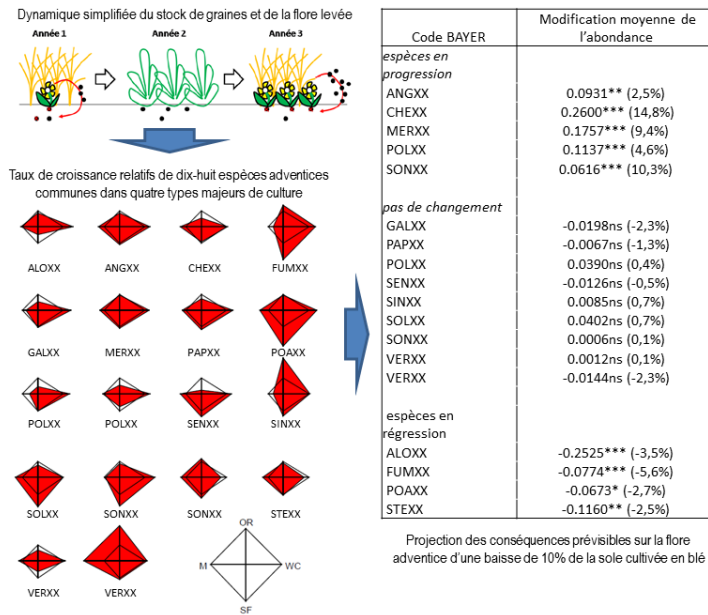


Figure 4 : Approche démographique des infestations adventices par chaîne de Markov cachée.

On assimile la flore adventice à l'expression d'un stock caché de semences qui germent à un certain taux selon la culture et les pratiques associées, donnent des plantes dont quelques-unes contribuent à réalimenter le stock avec une production de graines dépendante de l'issue de la compétition avec la culture, stock qui pendant ce temps a vieilli d'un an. Sur la base de ces trois paramètres synthétiques, il est possible de dresser une chaîne de Markov cachée dont la partie stock reste une variable cachée et de caler par maximum de vraisemblance les valeurs les plus compatibles avec les observations réalisées dans les parcelles suivies dans le temps au sein du réseau biovigilance-Flore. Il en découle un succès moyen relatif des différentes espèces selon la culture dans laquelle elles s'expriment. Ceci est figuré par les formes des losanges. Plus un losange est étiré dans une direction, plus la plante en question est favorisée par la situation correspondante. 'Toutes choses égales par ailleurs', on peut alors réaliser des simulations de l'évolution attendue du stock selon une modification de l'assolement (ici sur la partie droite, une diminution de 10% de la sole emblavée en blé).

2.3 Amélioration méthodologique des relevés de flore

A même effort, il est important de maximiser les informations collectées. Des travaux ont été menés afin d'améliorer les stratégies d'échantillonnage existantes où les lieux d'observations sont choisis de manière statique, avant la campagne d'échantillonnage. Ces travaux portent sur la conception de stratégie adaptative d'échantillonnage où les lieux d'observations sont cette fois-ci choisis les uns après les autres, en fonction des observations précédentes. Dans ce cas, les stratégies s'adaptent à la répartition de l'espèce adventice présente sur un territoire et un nombre d'observations plus important peut être effectué dans les espaces où la répartition est plus hétérogène.

La Figure 5 présente une illustration de cette démarche. La notion de valeur d'une stratégie particulière y est définie par la qualité moyenne des cartes reconstruites en utilisant cette stratégie par comparaison avec la vraie carte de répartition de l'espèce adventice (connue de manière exhaustive pour les besoins de l'étude). Cette approche ramène ainsi le choix d'échantillonnage à un problème d'optimisation de la valeur d'une politique. Les stratégies adaptatives, notées π_{Ad1} et π_{Ad2} dans la Figure 5, ont donné de meilleurs scores que quatre stratégies classiques de parcours régulier de la zone (selon des motifs en Z

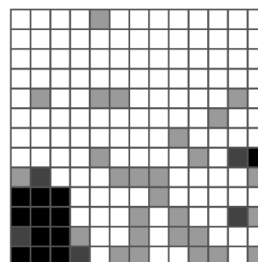
ou W, par exemple). Evidemment, sur les cartes de répartition de cinq adventices différentes (*Lactuca serriola*, *Galium aparine*, *Picris hieracioides*, *Chaenorrhinum minus*, *Cirsium arvense*), certaines stratégies statiques peuvent ponctuellement présenter un meilleur score mais pas une meilleure performance globale de reconstruction des cartes (Bonneau, 2012).

Nombre de quadrats bien reconstruits (sur 169) pour chacune des stratégies testées, dans le cas de *Cirsium arvense* L. Scopoli.

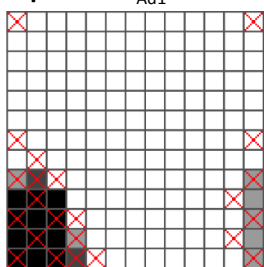
| π_{Ad1} | π_{Ad2} | Reg1 | Reg2 | Reg3 | Reg4 | W1 | W2 | Z | Etoile |
|-------------|-------------|------|------|------|------|-----|-----|-----|--------|
| 138 | 141 | 130 | 127 | 131 | 123 | 124 | 122 | 135 | 130 |

Pour chacune de ces stratégies, les quadrats observés sont marqués d'une croix rouge. Les trois stratégies présentées permettent de retrouver le patch d'adventices situé en bas à gauche de la carte. Pour la stratégie statique (formant un Z) cela relève plus de la chance, puisqu'elle ne se base sur aucune observation sur la parcelle. Et les cartes reconstruites à l'aide de cette stratégie sont d'ailleurs généralement de mauvaises qualités. Si le patch d'adventices était situé en bas à droite de la carte, cette stratégie ne l'aurait pas détecté.

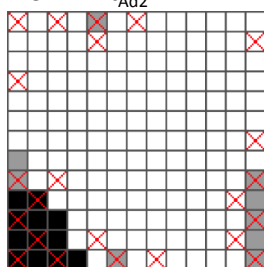
Carte vraie



Bpmax = π_{Ad1}



LSDP = π_{Ad2}



Statique = Z

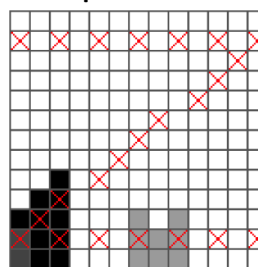


Figure 5 : Comparaison de différentes méthodes d'échantillonnage d'une espèce adventice au sein d'un territoire et comparaison à la répartition exhaustive connue. Les notes des différentes méthodes régulières ou adaptatives montrent la supériorité des méthodes d'échantillonnage adaptatives à même profondeur d'exploration (nombre de cases visitées).

3. Biovigilance et raisonnement de la gestion des adventices

Les données du réseau Biovigilance confirment le rôle essentiel de la diversification des cultures pour limiter le risque adventice. Augmenter la proportion de cultures estivales dans la rotation permet de contenir l'abondance d'adventices spécialistes des céréales d'hiver comme le vulpin des champs ou le gaillet (Figure 6). Il est sans doute, envisageable d'en généraliser le principe en calculant une distance de similarité entre cultures sur la base du degré de recouvrement de leurs flores respectives. Ainsi, vu du prisme des adventices, un blé et une orge se ressemblent beaucoup plus qu'un blé et un maïs ou un blé et une luzerne. Disposant d'une telle table d'équivalence floristique entre cultures, et en excluant toutes autres considérations, chaque praticien pourrait mieux choisir sa chronologie de cultures dans l'optique d'une gestion du risque perçu et de la réalité d'une flore observée au sein d'une parcelle.

A travers la rapidité et l'intensité de modification des flores constatée à large échelle, on ne peut que constater la perméabilité de la majorité des systèmes de cultures à l'entrée de nouvelles espèces. Aussi, souhaitons-nous attirer l'attention sur le nécessaire renforcement de vigilance à apporter à l'entrée de nouvelles venues dans les parcelles. La rapidité de leur montée en puissance souligne l'absence passagère de moyens bien établis pour en assurer le contrôle dans les phases initiales et souvent inaperçues de leur installation.

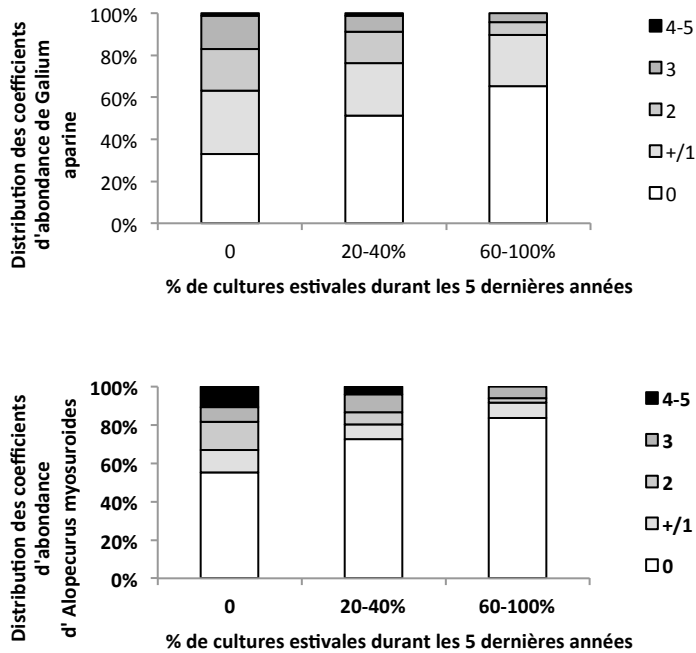


Figure 6. Distribution des coefficients d'abondance du gaillet et du vulpin dans le blé d'hiver en fonction de la proportion de cultures estivales durant les 5 années précédentes. a) Test exact de Fisher, $p < 0.021$; b) Test exact de Fisher, $p < 0.015$. (N=297 parcelles). Les abondances sont rangées par ordre croissant, la note de 0 correspondant à l'absence de l'espèce et les notes 4-5 à des densités au delà de 20 plantes/m². Ces adventices majeures du blé voient leur abondance diminuer avec l'augmentation de la proportion de cultures estivales dans les précédents culturaux.



Figure 7 : Parcelle de tournesol dans le Gard envahie par *Sorghum halepense*, une graminée originaire de l'Est du Bassin méditerranéen, introduite depuis longtemps en France mais remontant peu à peu vers le Nord de la France. Son réseau enchevêtré de rhizomes courts associé à des germinations tardives et échelonnées en font une espèce difficile à contrôler en maïs, sorgho et tournesol, aussi bien en désherbage mécanique que chimique. Face à ce type d'espèces émergentes il est donc important d'intervenir suffisamment tôt avant que son installation ne nécessite des moyens de lutte aux coûts économiques et environnementaux élevés.

Conclusion

Ainsi, les réseaux d'observatoires fournissent une image inégalée de l'état des faunes ou des flores présentes dans les zones suivies. Même si ces réseaux ne peuvent se substituer à des expérimentations visant à montrer la relation de cause à effet, ils combinent et documentent une diversité de contextes propres à faire émerger le lien statistique sinon causal entre des changements majeurs de pratiques et des évolutions biologiques observées. En adossant aux réseaux de surveillance des approches méthodologiques et des outils d'analyse dérivés des approches en écologie dont les approches par les traits fonctionnels (Storkey, 2010 ; Gunton *et al.*, 2011 ; Fried *et al.*, 2012 ; Navas, 2012), nous exploitons progressivement les données de surveillance biologique sur leur capital de compréhension des phénomènes majeurs, de classification des impacts résultants ainsi que de prévision quand cela s'y prête des conséquences biologiques d'un usage accru (ou réduit) de certaines innovations touchant le territoire agricole. La valeur des réseaux d'observatoires repose en particulier sur la production d'un référentiel moins bruité par les particularités annuelles, ouvrant sur une meilleure compréhension des dynamiques des organismes ciblés et donc aussi de leur prévisibilité. Avec des pas de temps plus longs de l'ordre de la décennie, il deviendra sans doute possible de mettre en avant des tendances générales en relation avec des facteurs majeurs relevant de changements globaux. Ainsi, la puissance des réseaux d'observatoires réside non seulement dans la mise à disposition de jeux de données spatiaux mais aussi spatio-temporels qui permettent un travail de caractérisation des évolutions et de modélisation.

Remerciements : Les auteurs tiennent à remercier : i) les acteurs du réseau agriculteurs et techniciens en charge des relevés. Sans eux cet article qui exploite leur jeu de données n'existerait tout simplement pas, ii) la DGAL qui a financé l'action Biovigilance Flore. Par ailleurs, certains travaux synthétisés ici ont fait l'objet d'un soutien financier particulier notamment l'ANR Vigiweed. Enfin une attention toute particulière pour le RMT Florad, creuset de discussions et expressions d'attentes auxquels ces travaux tentent de contribuer.

Références bibliographiques

- Bohan D.A., Boursault A., Brooks D.R. *et al.*, 2011. National-scale regulation of the weed seedbank by carabid predators. *Journal of Applied Ecology* 48, 888-898.
- Borgy B., 2011. Dynamique et assemblage des communautés adventices : Approche par modélisation statistique. Thèse de Doctorat, Université de Bourgogne, Dijon, France.
- Borgy B., Gaba S., Petit S., Reboud X., 2012. Weed abundance assembly rules demonstrate interference between species within a field. *Weed Research* 52, 383-389.
- Chauvel B., Guillemin J-P., Colbach N., 2009. Evolution of a herbicide-resistant population of *Alopecurus myosuroides* Huds. in a long-term cropping system experiment. *Crop Protection* 28, 343-349.
- Cordeau S., Petit S., Reboud X., Chauvel B., 2012. The impact of sown grass strips on the spatial distribution of weed species in adjacent boundaries and arable fields. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 155, 35-40.
- Fried G., Reboud X., Bibard V., Délos M., Bombarde M., 2006. Mauvaises herbes du Maïs : 25 ans d'évolution dans les grandes régions de production. *Perspectives agricoles* 320, 68-74.
- Fried G., Reboud X., 2007. Evolution de la composition des communautés adventices des cultures de colza sous l'influence des systèmes de cultures. *Oléagineux Corps gras et Lipides* 14, 130-138
- Fried G., Reboud X., Gasquez J., Délos M., 2007. Réseau Biovigilance flore en grandes cultures. Présentation du dispositif : les moyens mis en œuvre et ses premiers résultats sur les adventices et ce qui les fait évoluer. *Phytoma-LdV* 610, 10-16.

- Fried G., Chauvel B., Reboud X., 2008. Evolution de la flore adventice des champs cultivés au cours des dernières décennies : vers la sélection de groupes d'espèces répondant aux systèmes de culture. *Innovations Agronomiques* 3, 15-26.
- Fried G., Norton L.R., Reboud X., 2008. Environmental and management factors determining weed species composition and diversity in France. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 128, 68-76.
- Fried G., Chauvel B., Reboud X., 2009. Shifts in vegetation analyzed by functional group approach: weed communities in sunflower after 30 years as a case study. *Journal of Vegetation Science* 20, 49-58.
- 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, 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, OpenSource e-10*, 20.
- Gaba S., Chauvel B., Dessaint F. *et al.*, 2010. Weed species richness in winter wheat increases with landscape heterogeneity. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 138, 318-323.
- Gunton R.M., Petit S., Gaba S., 2011. Functional traits relating arable weed communities to crop characteristics. *Journal of Vegetation Science*. 22, 541-550.
- Maillet J., Lopez-Garcia C., 2000. What criteria are relevant for predicting the invasive capacity of a new agricultural weed? The case of invasive American species in France. *Weed Research* 40, 11-26.
- Navas M.L., 2012. Trait-based approaches to unravelling the assembly of weed communities and their impact on agro-ecosystem functioning. *Weed Research, Weed Research* 6, 479-488.
- Orlando D., Barralis G., Mamarot J., Gouet J-P., Foessel P., Leterrier J-L., 1992. Résultats d'une enquête floristique réalisée sur les parcelles témoins des essais désherbage. 15^{ème} Conférence du COLUMA (Versailles), 503-518, édition AFPP, Paris.
- Petit S., Boursault A., Le Guilloux M., Munier-Jolain N.M., Reboud X., 2011. Weeds in agricultural landscapes: a review. *Agronomy for Sustainable Development* 31, 309-317.
- Pysek P., Jarosik V., Chytrý M., Kropac Z., Tichý L., Wilds J., 2005. Alien plants in temperate weed communities: Prehistoric and recent invaders occupy different habitats. *Ecology* 86, 772-785.
- Reboud X., Lonchamp J-P., Chauvel B., Bombarde M., El Mjyad N., Delos M., Molin F., 2003. Les mauvaises herbes les plus communes. Des témoins des changements en zone de grande culture ? *Phytoma-LdV* 564, 14-17.
- Storkey J., Moss S.R., Cussans J.W., 2010. Using assembly theory to explain changes in a weed flora in response to agricultural intensification. *Weed Science* 58, 39-46.