



HAL
open science

Comment intégrer la maîtrise de la flore adventice dans le cadre général d'un système de production intégrée ?

Michel Bertrand, Thierry Doré

► To cite this version:

Michel Bertrand, Thierry Doré. Comment intégrer la maîtrise de la flore adventice dans le cadre général d'un système de production intégrée?. Innovations Agronomiques, 2008, 3, pp.1-13. hal-01173254

HAL Id: hal-01173254

<https://hal.science/hal-01173254>

Submitted on 9 Aug 2019

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

Comment intégrer la maîtrise de la flore adventice dans le cadre général d'un système de production intégrée ?

M. Bertrand¹, T. Doré²

¹ : INRA, UMR d'Agronomie 211 INRA/AgroParisTech, BP1, 78850 Thiverval-Grignon, France

² : AgroParisTech, UMR d'Agronomie 211 INRA/AgroParisTech, BP1, 78850 Thiverval-Grignon, France

Correspondance : michel.bertrand@grignon.inra.fr

Résumé

La production intégrée peut être définie comme un ensemble de principes et de raisonnements agronomiques visant à remplacer autant que possible l'utilisation des intrants de synthèse par d'autres interventions. Nous présentons tout d'abord plusieurs expériences de production intégrée ayant été conduites dans des essais annuels pour des itinéraires techniques, dans des essais de longue durée pour des systèmes de culture complets, ou chez des agriculteurs. Il ressort de cet inventaire que la question de la gestion des adventices donne le plus souvent lieu à des modifications limitées même dans le cas de productions mettant en œuvre des systèmes de culture profondément transformées. Ce constat est mis en regard des spécificités de la flore adventice dans le champ cultivé, et nous rappelons les conséquences des différentes techniques culturales mises en œuvre dans les systèmes de culture sur l'évolution de la flore adventice. Ce rappel permet de discuter les conséquences prévisibles des différentes évolutions actuelles des systèmes de culture, comme la simplification du travail du sol ou l'allongement des successions. En conclusion, les recherches à mener pour permettre une meilleure prise en compte de l'évolution de la flore adventice dans la conception de systèmes de cultures sont discutées.

Abstract

Integrated production consists in substituting the use of chemical inputs by others technical interventions, using a set of agronomic reasoning and rules. In this paper, several studies of integrated production are first reported. The experiments were carried out for annual crops, in long term experiments, or were conducted by farmers. This review points out the lack of deep modifications in weeding practices in those trials, compared with the changes in nitrogen fertilisation or crop protection against diseases for example. This first conclusion is related to the characteristics of the weed flora. The relationships between the different technical practices, involved in cropping systems, and the evolution of the weed populations are presented. We therefore discuss how far the weed management must and can be adapted in new cropping systems following today the principles of integrated production. Finally, prospects for researches useful for integrating weed management in designing new cropping systems are discussed.

Introduction

Les systèmes de culture doivent, en permanence, faire l'objet d'adaptations, de manière à mieux satisfaire les attentes que la société a vis-à-vis de son agriculture. Si on reste à un niveau très général, ces attentes sont les mêmes partout dans le monde : elles concernent la production alimentaire et non-alimentaire, la réalisation de services écologiques, la mise en œuvre d'une activité économique et

sociale. C'est bien sûr la déclinaison de ces grandes orientations selon les régions du monde, caractérisées par des milieux, des pressions sur les ressources, des besoins locaux, des contextes économiques très variés, qui entraîne la nécessité d'inventer des systèmes de culture nouveaux et différents selon les régions. Pour l'agriculture française, Meynard (2008) a récemment fait le point sur les attentes actuelles, environnementales, de compétitivité économique, d'insertion dans les filières et les territoires. Ces attentes imposent une transformation des systèmes, orientant l'agriculture vers des systèmes de production intégrée. L'objectif de cet article introductif est de dresser un panorama rapide de la manière dont la gestion des adventices peut s'intégrer dans les systèmes de production intégrée. Après avoir fait le point sur cette notion de production intégrée, nous présenterons la place de la gestion des adventices dans les expérimentations déjà menées sur la production intégrée, puis nous analyserons les obstacles à surmonter et les pistes de recherche à creuser pour parvenir à une meilleure intégration.

La production intégrée, une idée toujours neuve

Qu'appelle-t-on la production intégrée ? Beaucoup d'utilisations sont faites de ce terme, mais avec des significations parfois différentes. Une des raisons en est que la définition de la production intégrée mélange des objectifs et des moyens, et que ces objectifs et ces moyens mobilisés dans la définition ont évolué au cours du temps.

Si on se réfère à la définition de l'OILB/SROP de 2004 (Boller *et al.*, 2004), « *la production intégrée est un système de production qui produit des aliments de haute qualité et d'autres matières premières en mobilisant les ressources et les mécanismes de régulation naturels pour remplacer les intrants polluants et sécuriser une agriculture durable. L'accent en production intégrée est mis sur :*

- *Une approche « holistique » des systèmes, qui fait de l'exploitation agricole l'unité de base*
- *Le rôle central des agro-écosystèmes*
- *L'équilibre des cycles des éléments minéraux*
- *Le bien-être des animaux d'élevage.*

La préservation et l'amélioration de la qualité des sols, de l'environnement sous des composantes multiples, et de critères éthiques et sociaux, sont des composantes essentielles. Le recours à des méthodes biologiques, agronomiques et chimiques est pesé soigneusement en prenant en compte la protection de l'environnement, la rentabilité, et les exigences sociales. »

Le concept de production intégrée n'est pas nouveau : il a émergé dans les années 1960 et 1970 comme un élargissement de la notion de protection intégrée des cultures. Comme cette dernière, il a cependant évolué : Boller *et al.* (2004) par exemple soulignent qu'entre 1992 et 2004, la définition de l'OILB a été modifiée pour prendre en compte les questions de qualité des produits d'une part, et de bien-être animal d'autre part. Et les termes de la définition ci-dessus admettent également des modifications dans le contenu de la production intégrée sans changement de la définition littérale : par exemple les composantes de l'environnement prises en considération sont évolutives – la préservation de la biodiversité et la prévention du changement climatique n'avaient pas il y a quinze ans le poids qu'on leur accorde aujourd'hui. Enfin, en ce qui concerne les moyens, la question de la valorisation de régulations à l'échelle du territoire prend de plus en plus d'importance pour la production intégrée des cultures (Deguine et Ferron, 2006) mais aussi globalement pour la production intégrée ce qui peut remettre en cause, ou tout au moins amener à compléter, la place centrale accordée à l'exploitation agricole. Enfin, annoncer que les trois dimensions de la durabilité doivent être soigneusement pesées ne dit en rien de quelle manière elles sont pondérées. Pour toutes ces raisons, on peut trouver chez les agriculteurs une variété de systèmes de production se réclamant de la production intégrée et qui pourtant ont des caractéristiques assez différentes. Pour faciliter notre propos, nous nous en tiendrons

néanmoins pour l'essentiel dans cet article à ce qui est tout de même un dénominateur commun de ces différentes traductions concrètes de la production intégrée : le remplacement « autant que possible » de l'utilisation des intrants chimiques de synthèse par d'autres modes d'intervention. Enfin, nous préférons dans cet article le terme de « gestion des adventices » plutôt que celui de désherbage. Ce dernier renvoie en effet quasi-exclusivement à la nuisibilité des « mauvaises herbes » ; or la question de la prise en compte des services écologiques (comme celui de ressource trophique pour les oiseaux et les insectes) rendus par les adventices, même si elle est encore peu renseignée, est de plus en plus fréquemment posée (Gerowitt *et al.*, 2003 ; Marshall *et al.*, 2003).

Dans les expériences de mise en oeuvre de la production intégrée, la protection contre les adventices reste un point sensible

Comme on vient de le voir, le concept de production intégrée, même s'il est donc toujours en renouvellement, n'est pas récent. Il est dès lors intéressant d'identifier comment, dans les expériences de production intégrée menées au cours des dernières décennies, la question de la gestion des adventices a été traitée. Parmi les expérimentations sur la production intégrée rapportées dans la bibliographie, on peut distinguer deux catégories de situations : celles concernant la conduite d'une espèce donnée, pour lesquelles on se situe essentiellement à l'échelle du cycle cultural, et celles prenant en compte l'ensemble du système de culture, et abordant donc l'échelle pluriannuelle. On dispose aussi d'un petit nombre d'analyses de la mise en oeuvre pratique de la production intégrée chez les agriculteurs.

Enseignements issus des expérimentations sur la production intégrée...

A l'échelle d'une culture, les premiers travaux de l'INRA en grandes cultures ont porté sur la production intégrée du blé, et ont été initiés par Meynard (1985). Ils ont été construits avec pour objectifs (i) de limiter les problèmes environnementaux, dominés à l'époque par la question de la pollution azotée des eaux souterraines, et (ii) de trouver une autre piste de rentabilité de la culture dans un contexte d'évolution défavorable des prix de vente. Ces deux angles d'approche ont conduit à reconsidérer l'ensemble date / densité de semis, avec pour objectif de diminuer les niveaux de croissance en biomasse en sortie d'hiver et par là même de baisser les besoins en fertilisation, et l'exigence de protection contre les maladies fongiques. Le nouvel état de développement du couvert de blé obtenu, moins dense et implanté plus tardivement, a des répercussions défavorables sur les possibilités de compétition par la culture ; en revanche des semis plus tardifs rendent plus efficaces les épauements des stocks de semences par « faux-semis ». Toutefois, aucune modification des stratégies de gestion des adventices n'était envisagée dans ces travaux, car la dimension purement annuelle de la mise en expérimentation rendait peu pertinente la gestion du stock d'adventices, et ne permettait de toutes manières pas d'évaluer les conséquences d'éventuelles modifications (Saulas et Meynard, 1998). Le prolongement de ces travaux pour la production de blé à finalité énergétique (Loyce *et al.*, 2002) est resté fondé sur les mêmes principes de bases, même si les niveaux plus faibles de coûts de production recherchés pour cette destination d'agrocarburant pouvaient justifier une réduction des coûts de désherbage. Là encore, c'est l'échelle résolument annuelle des travaux qui a conduit à laisser de côté cet aspect de l'itinéraire technique.

La mise au point d'itinéraires techniques intégrés pour le colza à l'INRA a quant à elle été fondée sur un avancement des dates de semis permettant de modifier conjointement le bilan azoté et la protection de la culture contre les bioagresseurs (Dejoux *et al.*, 2003). L'utilisation d'une plus forte croissance automnale du colza pour lutter contre les adventices par étouffement, et permettre de réduire l'utilisation d'herbicides, a fait l'objet d'expérimentations (Valantin-Morison *et al.*, 2004). Une évaluation *a priori* de

la disponibilité en azote du milieu à l'automne, et sa valorisation par un semis précoce (Morison, 2007), permettent de diminuer le risque de développement des adventices et d'utiliser un programme de désherbage faisant l'impasse sur le traitement de pré-levée. Cette évolution s'accompagne toutefois d'une augmentation du risque d'attaque par le phoma qui en limite la praticabilité.

Dans l'ensemble de ces travaux sur des itinéraires techniques intégrés, en blé comme en colza, les modifications des pratiques de gestion de la flore paraissent très limitées par rapport à ce qui est mis en œuvre pour la fertilisation azotée ou la lutte contre les maladies par exemple. Le fait que les conséquences d'une modification du désherbage puissent s'exprimer à moyen voire long terme, donc au-delà de la durée de l'expérimentation, explique en partie cette frilosité.

Dans les essais "systèmes de culture" conduits sur l'ensemble des différentes cultures de la succession, l'appréciation des effets d'une modification des modes de gestion des adventices peut en revanche être approchée. Deux principaux essais de ce type menés par l'INRA sont disponibles en France. A Versailles dans l'essai dit de « La Cage » (Bertrand *et al.*, 2005 ; Debaeke *et al.*, 2008a), quatre systèmes sont comparés : système conventionnel, à bas niveau d'intrants (assimilable à de la production intégrée), sous couvert végétal et biologique. L'essai s'inscrit dans l'agriculture du Bassin Parisien, et maintient dans tous les systèmes un blé d'hiver une année sur deux, ce qui limite *de facto* les capacités à jouer sur la succession de culture pour satisfaire les objectifs de chacun des systèmes. Les variations dans les stratégies de gestion des adventices des différents systèmes choisies par les responsables de l'essai sont restreintes (si on écarte le cas du système biologique pour lequel seules les interventions mécaniques sont possibles). Pour le blé d'hiver et le pois, les traitements systématiques sont remplacés par des traitements à vue dans le système à bas niveau d'intrants. De même pour le colza, le traitement de pré-levée est supprimé dans le système à bas niveau d'intrants, le programme s'appuyant sur un renforcement de la compétitivité de la culture (semis précoce) et un traitement de rattrapage à vue. A Toulouse, un essai système de culture a été construit sur un raisonnement centré sur l'utilisation de quantités variables d'eau et de main-d'œuvre (Nolot et Debaeke, 2003). Trois systèmes correspondant à un accès plus ou moins limité à ces deux ressources sont comparés, se traduisant par des choix d'espèces de sensibilité à la sécheresse variables, et par différents degrés de rationnement de l'alimentation hydrique. Même si les successions sont modifiées ainsi que les dates de semis, les règles de décision en matière de gestion des adventices varient peu pour une espèce donnée. En revanche, l'effet des systèmes s'est traduit par des variations de l'état d'enherbement faisant qu'une même règle de décision peut conduire à traiter ou non suivant les systèmes.

On voit dans le raisonnement des deux essais INRA de Versailles et de Toulouse que les modifications apportées aux stratégies de gestion des adventices sont limitées, même quand on conduit ces changements techniques à une échelle de temps pluriannuelle qui devrait permettre la mise en œuvre et l'évaluation de stratégies de lutte, y compris dans leurs effets à moyen voire long terme. Cette évaluation est perturbée par les difficultés pratiques (lourdeur de l'échantillonnage, nécessaire expertise de reconnaissance des espèces) de quantification du stock de semences d'adventices, qui permet de caractériser le potentiel d'envahissement indépendamment de l'effet du climat sur les levées de mauvaises herbes. Plusieurs expérimentations menées à l'étranger peuvent être évoquées pour compléter cet aperçu de la place de la gestion des adventices dans la production intégrée. Des systèmes à bas niveaux d'intrants ont été comparés à des systèmes conventionnels dans deux expérimentations aux Etats-Unis. Poudel *et al.* (2002) introduisent ainsi des plantes de couverture pour limiter le développement des adventices, et Smith *et al.* (2007) changent la règle de décision pour autoriser des traitements à dose réduite au vu de l'état de la flore. Dans les deux cas, le raisonnement des modalités de désherbage est peu modifié entre système conventionnel et système à bas niveaux d'intrants. Smith *et al.* (2007) comparent également un système sans labour avec un système conventionnel, sans modifier les règles de désherbage. De même, Gerowitt (2003) conduit deux systèmes ayant une rotation diversifiée avec ou sans labour en appliquant les mêmes techniques de

contrôle. Teasdale *et al.* (2007) conduisent également deux systèmes non labourés utilisant ou non une plante d'interculture avec le même programme de désherbage ; seule l'introduction, dans un troisième système, d'une plante de couverture entraîne un allègement de l'utilisation d'herbicides.

On notera qu'il existe également un essai conduit à l'INRA à Dijon qui occupe une position particulière car, à l'inverse des essais de Versailles et Toulouse, il a mis en avant la question de la gestion des adventices. Il sera présenté plus en détail ultérieurement par Munier-Jolain *et al.* On peut toutefois noter qu'il ne s'agit pas d'une expérimentation de production intégrée, mais bien d'une évaluation de stratégies alternatives de maîtrise des adventices. Pour que ses résultats soient complètement utilisables dans le cadre de systèmes de production intégrée, il faut qu'ils soient replacés dans des systèmes de culture complets, c'est-à-dire que les stratégies de gestion des adventices évaluées comme intéressantes dans cet essai soient évaluées du point de vue de leur compatibilité avec les autres objectifs des systèmes de culture (en termes économiques et environnementaux) d'une part, et du point de vue de leurs interactions avec les autres dimensions de la gestion des cultures d'autre part – ce point sera discuté dans la troisième partie de cet article.

Finalement, on observe que même quand des systèmes radicalement différents sur le plan de leurs objectifs et des états de l'agrosystème qu'ils induisent sont mis en expérimentation, les programmes de gestion des adventices sont peu modifiés. La protection contre les adventices serait ainsi une sorte de « parent pauvre » de la production intégrée. On peut avancer plusieurs raisons pour l'expliquer. La première est la difficulté de l'expérimentation pluriannuelle sur les systèmes de culture, qui explique le faible nombre de sites expérimentaux, et donc de lieux où on peut expérimenter l'intégration de la gestion intégrée de la flore adventice dans des systèmes pluriannuels. Ce type d'expérimentation est coûteux en temps et en moyens, et il nécessite de faire des choix sur les successions de culture mises en expérimentation, ce qui peut paraître risqué dans un contexte de modifications rapides des choix d'assolement par les agriculteurs : les traitements expérimentaux risquent alors de paraître rapidement obsolètes. La seconde est certainement liée à la relative faiblesse du capital de connaissances nécessaire pour inventer des stratégies de gestion de la flore intégrée. La flore adventice est en effet par définition multi-spécifique (avec de plus une variabilité génétique intra-spécifique), son évolution quantitative et qualitative à l'échelle parcellaire est sensible à des modifications de nombreuses variables du milieu et des systèmes de culture, et sa gestion doit inclure par ailleurs une dimension paysagère. Si on ajoute que les connaissances malherbologiques ont pendant longtemps privilégié les domaines de la connaissance botanique, physiologique et génétique des espèces adventices, et celui de la lutte chimique, on conçoit que les connaissances disponibles ne soient pas complètement adaptées à la définition de stratégies de protection intégrée contre les adventices. Enfin, une troisième raison tient au faible état d'avancement de la modélisation de l'évolution des communautés d'adventices sous l'effet des systèmes de culture : alors que pour d'autres compartiments (nutrition hydro-minérale, gestion des états physiques du sol) de la conception de systèmes innovants, le recours à la modélisation est très courant, il n'est pratiquement pas encore mobilisable à l'heure actuelle pour la gestion des adventices, faute de modélisation adaptée.

... et de mise en œuvre chez les agriculteurs

Les situations présentées ci-dessus concernaient des expérimentations menées pour l'essentiel en station expérimentale. Les enseignements même partiels qui en sont tirés, ainsi que ceux issus de travaux plus analytiques, ont amené à la définition de prototypes de stratégies de lutte contre les mauvaises herbes *a priori* utilisables en production intégrée, et appropriables par le développement et les agriculteurs. Dans certains cas (encore rares pour le moment), on dispose d'un suivi de cette appropriation (voir les exemples d'Agrotransfert Ressources et territoires en Picardie, et du réseau de fermes de Bourgogne mentionnés dans Debaeke *et al.*, 2008b). En Picardie, des conduites intégrées du blé ont été testées sur huit fermes pilotes, dans les conditions de la pratique agricole, entre 2002 et

2008. On observe une réduction progressive des densités de semis, de l'utilisation de fongicides et de régulateurs de croissance, sans incidence négative sur les résultats économiques. Pour l'emploi des herbicides, l'évolution est en revanche relativement peu visible, le nombre de passages étant maintenu (mais les matières actives utilisées ont changé), alors même que les systèmes conçus prévoyaient une baisse de leur emploi grâce à l'adoption d'un certain nombre de références issues de la recherche. Dans ces mises à l'épreuve dans les conditions de la pratique des agriculteurs, on se heurte à plusieurs difficultés de mise en œuvre (Mischler, com. pers.). Les premières sont liées aux impossibilités matérielles que rencontrent certains agriculteurs pour réaliser les ensembles techniques prévus : matériel non disponible (pour le désherbage mécanique), incompatibilité avec le calendrier de travail (cas de l'augmentation du nombre de déchaumages), incompatibilité avec les autres objectifs du système de culture (cas du choix des espèces constituant la succession, en premier lieu raisonné sur des critères de rentabilité économique), etc. Par ailleurs, il existe des difficultés liées à l'acceptation de la prise de risque : les conséquences d'une mauvaise maîtrise une seule année peuvent être si pénalisantes pour les années suivantes que tant que des solutions techniques existent pour "rattraper", par voie chimique, les situations dégradées, ces solutions apparaissent moins risquées.

Il n'est certes pas possible de généraliser à partir de ce seul suivi les difficultés d'adoption dans la pratique de stratégies de protection intégrée contre les adventices. Ce qu'il met en évidence est cependant convergent avec ce qui ressort d'échanges plus informels avec des professionnels : lorsque des stratégies de protection intégrée contre les adventices ont été élaborées, leur mise en œuvre par les agriculteurs, leur intégration dans des systèmes de culture en production intégrée, n'est pas immédiate – alors même qu'on en est resté à une définition assez basique de la production intégrée. Il est dès lors légitime de s'intéresser de plus près à cette question des capacités d'intégration de la maîtrise des adventices dans la production intégrée, et d'accorder toute l'attention nécessaire au point suivant : comment mettre au point des stratégies de protection intégrée contre les adventices qui préservent la diversité des objectifs de la production intégrée, et qui soient compatibles avec la variabilité des situations pédoclimatiques et socio-économiques qui caractérise la réalité agricole ?

Maîtrise des adventices et production intégrée, quelle compatibilité, quelles difficultés ?

Les éléments qui singularisent la gestion des adventices par rapport au reste de la conduite d'un système de culture sont les suivants :

- Les actions qui jouent sur les populations d'adventices dans une parcelle une année donnée ont une influence déterminante sur les populations des années suivantes, en raison d'une part de la forte capacité de conservation des espèces adventices, et d'autre part de la fraction en général très faible que représente sur le plan quantitatif l'apport annuel de graines en provenance d'individus extérieurs à la parcelle.
- L'objet même dont il est question (« les adventices ») est un objet particulièrement composite (« les adventices » dans un champ, ce sont plusieurs espèces, avec une hétérogénéité génétique au sein de chaque espèce présente).
- Cet objet est lui-même très variable et peut être radicalement différent sur deux parcelles voisines.
- A l'intérieur d'une parcelle, il existe une très forte hétérogénéité spatiale des communautés d'adventices, tant en termes d'espèces présentes que d'effectifs.

- La nature de cet objet varie au cours du temps, avec possibilité d'apparition et de disparition d'espèces dans une même parcelle, ou modification de la structure génétique des populations des différentes espèces présentes.

Par ailleurs, comme nous allons l'expliciter dans le paragraphe suivant, l'évolution des communautés d'adventices dépend de multiples éléments de conduite agronomique.

Influence des systèmes de culture et de leur organisation dans l'espace sur les communautés d'adventices

C'est un des éléments de base de l'agronomie que de considérer qu'une même composante du milieu, qu'elle soit physique, chimique ou biologique, dépend de multiples actes techniques, et pas seulement de ceux qui sont raisonnés pour gérer cette composante. Ainsi, la structure du sol dépend non seulement des passages d'outils de travail du sol, mais également des autres passages d'engins induisant des tassements, ou encore du choix des espèces cultivées dont la croissance et le fonctionnement du système racinaire vont plus ou moins permettre une augmentation de la porosité. D'une manière similaire, la quantité d'azote minéral présent dans l'horizon labouré à une date donnée dépend de la quantité d'engrais azoté apporté, mais aussi de toutes les techniques qui jouent sur la masse, la composition, et la vitesse de dégradation des matières organiques dans le sol. Et c'est un des objectifs scientifiques de l'agronomie que de quantifier ces processus et leurs interactions, afin d'être capable d'évaluer et de prévoir l'évolution des champs cultivés sous l'effet des techniques.

Qu'en est-il pour les communautés d'adventices ? Cette composante biologique de l'agrosystème n'échappe pas à la règle. L'état d'une communauté dans une parcelle à un instant donné, caractérisé par la nature des espèces présentes, leur structure génétique, et les effectifs de chaque population, est affecté par la majorité des décisions techniques que prend un agriculteur. Ces décisions jouent (i) directement sur la disparition des individus (mortalité), (ii) sur le changement de stade (par exemple levée de dormance, mise en condition de germination favorable), qui fait passer les individus d'un stade insensible à une technique à un stade sensible à cette technique, (iii) sur la sélection progressive des espèces et génotypes insensibles ou moins sensibles à l'application d'une technique létale, (iv) sur l'introduction de nouvelles espèces dans la communauté. On peut synthétiser ces effets des techniques mises en oeuvre par les agriculteurs sur les communautés de la manière suivante (pour plus de détails voir par exemple Aubertot *et al.*, 2006) :

- Les techniques de désherbage ont pour fonction essentielle et souvent unique de diminuer les effectifs des espèces d'adventices. L'efficacité immédiate (mesurée par le taux de mortalité des adventices) de ces techniques dépend de nombreuses conditions, en particulier des conditions climatiques mais également du stade des individus au moment de l'application de la technique ; les différentes méthodes de désherbage (chimique, mécanique, thermique, biologique) ont également des spectres d'efficacité différents. Leur efficacité à plus long terme dépend de la date d'application de la technique par rapport aux phases de production d'organes de dissémination viables.
- Indépendamment des passages d'outils qui ont pour objectif l'élimination mécanique des adventices (hersage, binage), tout passage d'outil sur le sol est susceptible de modifier les populations d'adventices par trois processus : (i) la modification du positionnement des organes de reproduction dans le profil de sol, déterminant pour le déclenchement de changements de stade, voire pour la survie de ces organes, (ii) leur mise en conditions favorables à la reprise de végétation (organes végétatifs) ou à la germination (graines), (iii) la mortalité directe lors du passage de l'outil sur une plantule.

- Toutes les techniques qui vont modifier l'environnement des individus en croissance vont jouer sur l'évolution des populations d'adventices, en modifiant les quantités de facteurs de croissance mis à leur disposition, et les conditions de cette croissance. Ainsi, la structure du couvert végétal de la plante cultivée (dépendant de l'ensemble date/densité/géométrie de semis, mais aussi de la variété semée) déterminera la quantité et la qualité du rayonnement disponible pour la croissance des mauvaises herbes ; le régime de fertilisation et d'irrigation jouera sur la quantité d'eau et d'éléments minéraux disponibles pour cette croissance, en interaction avec les caractéristiques du peuplement cultivé déterminant sa propre demande ; le choix de variétés cultivées à capacités allélopathiques peut perturber la croissance des adventices (Belz, 2007), ou encore la protection contre les maladies et ravageurs des cultures peut modifier les communautés d'insectes et de champignons jouant sur la croissance des adventices ou sur la prédation, etc. Ces phénomènes de compétition, allélopathie, et dans certains cas parasitisme, peuvent entraîner un effet immédiat (mortalité des individus en croissance par ombrage par exemple), ou différé (non atteinte des stades reproducteurs, jouant sur les effectifs à plus long terme).
- La nature et l'ordre des cultures se succédant sur une parcelle ont un rôle majeur, à la fois direct et indirect. Direct, parce que le calendrier cultural, se traduisant par la période d'occupation du sol par chaque culture, déterminera les conditions de croissance que rencontre une espèce donnée au moment de son émergence, elle-même fonction des caractéristiques écologiques de l'espèce (saisonnalisation plus ou moins marquée et variable selon les espèces). Indirect, car à telle ou telle culture est associée tel ou tel ensemble possible de techniques (modalités de travail du sol, de fertilisation), dont les effets ont déjà été évoqués ci-dessus ; ou parce que le choix de la culture rend ou non possible l'application de telle ou telle technique de désherbage (par exemple passages répétés d'outils de travail du sol superficiel à l'automne). L'ordre est évidemment important, car il est susceptible d'induire des phénomènes cumulatifs favorables ou non à la croissance des populations d'adventices.
- En modifiant l'échelle d'approche, la position de la parcelle dans un ensemble géographique plus vaste et la gestion de ce territoire englobant la parcelle (gestion des bordures, positionnements respectifs des différentes parcelles d'une même culture dans un parcellaire donné) est susceptible de modifier quantitativement et qualitativement la flore d'une parcelle donnée, en raison des transferts latéraux d'organes de dissémination et de pollen (voir un exemple récent dans Suter (2007)).

Ces effets des choix techniques regroupés ici en quelques catégories ne sont évidemment pas univoques, et dépendent d'une part des interactions entre techniques, et d'autre part des interactions avec les conditions climatiques. La complexité de l'ensemble qu'ils représentent montre qu'il n'y a aucune chance pour qu'un système innovant dans lequel la gestion des adventices n'a pas été prise en compte soit systématiquement favorable pour cette composante ; et inversement qu'une stratégie de gestion des adventices aussi finement pensée soit-elle soit naturellement en adéquation avec les autres éléments du système de culture.

Tendances d'évolution des pratiques en production intégrée et conséquences pour la maîtrise des adventices

Au-delà de la lutte mécanique pour remplacer la lutte chimique, qui peut ne pas être toujours efficace (Chicouene, 2007 ; van der Weide *et al.*, 2008), ces différents effets des systèmes de culture ou de leur agencement dans l'espace représentent un gisement de leviers sur lesquels jouer pour maîtriser les populations d'adventices en minimisant le recours aux intrants chimiques, tout en satisfaisant différents objectifs de production et environnementaux. Et les travaux en la matière n'ont pas manqué au cours

des dernières années tant à l'INRA que dans d'autres organismes, mettant l'accent sur la nécessité de combiner plusieurs techniques de prévention et de contrôle pour parvenir à des résultats de maîtrise satisfaisants tant sur le court terme que sur le long terme. On peut ainsi citer les travaux et réflexions de Munier-Jolain *et al.* (2002) ; ou encore ceux de Buhler *et al.* (2000), Davis (2006), Anderson (2007), Avola *et al.* (2008), Sanyal *et al.* (2008). Mais dans ces travaux, on retrouve souvent l'isolement de la maîtrise des adventices, dont on fait un sujet à part ; les conséquences de ces systèmes sur d'autres dimensions que l'évolution de la flore ne sont pas étudiées, ou seulement sur un tout petit nombre de critères (Chikowo *et al.*, 2008). Or, si on améliore sensiblement la gestion des communautés d'adventices en développant une protection intégrée contre les adventices, mais qu'en même temps on dégrade les autres performances des systèmes de culture, la protection intégrée contre les adventices n'aura pas d'avenir – ou alors seulement dans les situations extrêmement dégradées (voir par exemple Chauvel *et al.*, 2001), où le problème adventice est tel qu'il devient premier et que l'amélioration générale du système passe d'abord par le règlement de ce problème, quel qu'en soit le coût temporaire. C'est donc vers une protection contre les adventices intégrée au sens où elle recourt à moins d'intrants de synthèse, mais aussi au sens où elle doit être intégrée à l'ensemble d'un système vertueux, qu'il faut aller (Buhler, 2002). Y a-t-il des difficultés majeures dans cette démarche ?

Un travail beaucoup plus approfondi que celui auquel cette introduction brève peut prétendre serait à mener, afin d'identifier si les tendances de modification de pratiques qui caractérisent les systèmes se réclamant de la production intégrée posent ou non des problèmes de compatibilité avec la protection intégrée contre les adventices. Ce travail devrait d'ailleurs être évolutif car, on l'a vu, la production intégrée n'est pas un ensemble de paquets techniques normatifs, mais plutôt un ensemble de principes se traduisant par des mises en œuvre pratiques adaptées aux conditions locales – la traduction étant loin d'être complète et ne pouvant pas être considérée comme acquise une fois pour toutes. On peut néanmoins ébaucher une première esquisse.

Une première tendance de la production intégrée consiste à raisonner davantage les successions culturales (en incluant les espèces d'interculture), dans les systèmes à base d'annuelles. Les objectifs concernent la gestion des populations de différents bioagresseurs (en particulier champignons et insectes, mais aussi mollusques), ainsi que l'alimentation minérale (alimentation azotée en particulier avec le rôle des Légumineuses et celui des cultures pièges à nitrate), mais aussi la satisfaction de différents objectifs environnementaux (lutte contre l'érosion et la pollution nitrique, préservation de la biodiversité). Quand elle se traduit par une augmentation de la diversité des cultures, cette tendance est plutôt favorable à la gestion intégrée des adventices (mais des contre-exemples existent, par exemple Brainard *et al.*, 2008), tant il est vrai *a contrario* que la monotonie des successions engendre des sélections de flore difficiles à maîtriser. La diversité « moyenne » est importante, mais l'ordre dans lequel se succèdent les cultures l'est aussi, comme le signale par exemple Anderson (2007). Par ailleurs, l'agencement spatial des espèces présentes est aussi un levier potentiellement utilisé en production intégrée. Cela comprend l'introduction de plantes de couverture sur des cultures pérennes (vergers, vignes), mais aussi sur des cultures annuelles ; ainsi que l'utilisation de mélanges de variétés d'une espèce, ou d'espèces différentes au sein d'une même parcelle (mélanges Graminacées/Légumineuses en particulier, qui modifient l'occupation de l'espace et le rayonnement qui parvient au niveau du sol). En cultures pérennes, le rôle positif des couverts herbacés vis-à-vis de la gestion des mauvaises herbes semble acquis ; en cultures annuelles, le recul n'est pas encore suffisant pour pouvoir vraiment conclure.

Une seconde tendance porte sur la simplification du travail du sol, ce qui présente certains intérêts sur le plan énergétique, sur celui de la gestion des éléments minéraux et de certains bioagresseurs, et sur celui de la limitation du ruissellement et de l'érosion. Les conséquences sur les adventices et leur gestion de cette simplification du travail du sol, qui peut prendre des formes très diverses, ont été étudiées par de très nombreux auteurs. L'idée communément avancée est que la simplification du travail du sol rend plus difficile la gestion des mauvaises herbes, en particulier sans recours aux

herbicides. Beaucoup de résultats expérimentaux vont dans ce sens. Mais pour autant, un travail du sol superficiel peut dans certains cas entraîner un moins bon contrôle qu'un semis direct (Melander *et al.*, 2008) ; et les résultats sont de toutes manières extrêmement variables. La conclusion générale de l'ensemble des travaux menés sur le sujet est que les effets de la simplification du travail du sol vont dépendre de l'interaction entre le type de travail du sol réalisé (nature des outils, fréquence des passages), les conditions de travail, et les caractéristiques écologiques des adventices présentes dans la banque de graines de la parcelle travaillée.

Un élément important de la production intégrée passe aussi par une modification des calendriers culturaux, souvent en association avec le raisonnement de l'ensemble date de semis/densité de semis/choix de variété. Un exemple typique est le recul des dates de semis de céréales, permettant de limiter l'emploi de fongicides et insecticides, souvent associé à des plus faibles densités de semis, l'ensemble permettant une moindre utilisation d'engrais azoté. Ici encore, les conséquences de ces choix sur les communautés d'adventices vont dépendre de la flore présente. Si les espèces majeures sont automnales, des semis différés permettent leur élimination par des travaux du sol avant semis ; si elles sont à germination plus tardive, cette élimination précoce sera impossible, et au contraire le choix d'une faible densité sera plutôt défavorable. Le décalage de semis n'est pas toujours dans le sens d'un retard : au contraire dans le cas de la culture du colza, on assiste plutôt à un avancement de la date de semis, permettant notamment un échappement à certaines maladies et une meilleure capture des reliquats azotés ; dans ce cas de figure, les effets sur la flore adventice sont en général favorables à une diminution de l'emploi des herbicides, car la compétitivité de la culture est accrue, ce qui joue à la fois sur la mortalité directe et sur la capacité des adventices à produire des graines (Sim *et al.*, 2007a). Le choix de la variété est très souvent couplé à celui de la date de semis, en prenant en considération des questions de sensibilité au froid et à la photopériode, mais aussi, dans le cadre d'une stratégie de production intégrée, en valorisant au mieux les résistances variétales aux insectes et surtout aux maladies. Les conséquences sur la flore de ce choix de variétés adaptées à la production intégrée n'ont pas été analysées de manière fine ; comme le suggèrent Sim *et al.* (2007b), le critère d'aptitude à la compétition vis-à-vis des adventices mériterait d'être considéré lors des programmes de sélection au moins sur des espèces comme le colza, car l'effet variété existe également sur la production grainière.

Enfin, la production intégrée passe par une diminution de l'emploi des pesticides, entre autres fongicides et insecticides, et souvent à l'heure actuelle par une diminution de la quantité d'engrais azotés apportés voire de la quantité d'azote minéral présent dans le système. Les conséquences de ces éléments de la production intégrée en termes de gestion des adventices sont encore peu documentées. La moindre utilisation de pesticides pourrait amener à une plus forte prédation de graines en fin de cycle, et une plus forte mortalité des adventices due à des maladies, mais nous n'avons pas de connaissance de travaux sur cette question. En ce qui concerne la disponibilité en azote, les études sont encore très fragmentaires (voir par exemple Berger *et al.*, 2007).

Conclusion

En conclusion, on peut considérer que la prise en compte de la gestion des adventices dans la production intégrée est amorcée, mais encore imparfaite. Les particularités de cette composante biologique, croisées avec le manque de travaux menés sur les temps longs en agronomie, en sont largement à l'origine. Toutefois, les principales orientations des recherches à mener pour progresser dans cette intégration sont maintenant assez clairement identifiées, et sont déjà travaillées, à l'INRA et ailleurs. On peut les résumer de la manière suivante :

- Augmenter le capital de connaissances sur les effets des pratiques prises une par une et en interaction sur les variables caractéristiques de la flore (démographie, évolution génétique).

- Construire et évaluer à partir de ces connaissances des stratégies pluriannuelles de gestion des adventices permettant d'atteindre une gamme d'objectifs en termes de flore.
- Identifier comment ces stratégies peuvent être adaptées de manière à être intégrées, sans perdre leurs intérêts, dans des systèmes de culture et de production correspondant à la diversité des conditions de production.

Pour chacune de ces orientations, la modélisation aura certainement un rôle central.

Références bibliographiques

Anderson R.L., 2007. Managing weeds with a dualistic approach of prevention and control. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 27, 13-18.

Aubertot J.N., Colbach N., Félix I., Munier-Jolain N., Roger-Estrade J., 2006. La composante biologique. In : T. Doré, M. Le Bail, P. Martin, B. Ney, J. Roger-Estrade (Eds.), *L'agronomie aujourd'hui*, QUAE Editions, Paris, p. 199-224.

Avola G., Tuttobene R., Gresta F., Abbate V., 2008. Weed control strategies for grain legumes. *Agronomy for Sustainable Development* 28, 389-395.

Belz R.G., 2007. Allelopathy in crop/weed interactions - an update. *Pest Management Science* 63, 308-326.

Berger A., McDonald A.J., Riha S.J., 2007. Does soil nitrogen affect early competitive traits of annual weeds in comparison with maize? *Weed Research* 47, 509-516.

Bertrand M., Guichard L., de Tourdonnet S., Saulas P., Picard D., 2005. Evaluation of the agronomic, economic and environmental impacts of no-tillage cropping systems. Results of a long-term experiment in France. *Proceedings of the III World Congress on Conservation Agriculture*. Nairobi, Kenya.

Boller E.F., Avilla J., Joerg E., Malavolta C., Wijnands F.G., Esberg P., 2004. Integrated production ; principles and technical guidelines. *IOPC wprs Bull.*, 27(2).

Brainard D.C., Bellinder R.R., Hahn R.R., Shah D.A., 2008. Crop rotation, cover crop, and weed management effects on weed seedbanks and yields in snap bean, sweet corn, and cabbage. *Weed Science* 56, 434-441.

Buhler D.D., 2002. Challenges and opportunities for integrated weed management. *Weed Science* 50, 273-280.

Buhler D.D., Liebman M., Obrycki J.J., 2000. Theoretical and practical challenges to an IPM approach to weed management. *Weed Science* 48, 274-280.

Chauvel B., Guillemin .P., Colbach N., Gasquez J., 2001. Evaluation of cropping systems for management of herbicide-resistant populations of blackgrass (*Alopecurus myosuroides* Huds.). *Crop Protection* 20, 127-137.

Chicouene D., 2007. Mechanical control of weeds. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 27, 19-27.

Davis A.S., 2006. When does it make sense to target the weed seed bank? *Weed Science* 54, 558-565.

Debaeke P., Munier-Jolain N., Bertrand M., Guichard L., Nolot J. M., Faloya V., Saulas P., 2008a. Iterative design and evaluation of rule-based cropping systems: methodology and case studies. *Agronomy for Sustainable Development*, sous presse.

Debaeke P., Petit M.S., Bertrand M., Mischler P., Munier-Jolain N., Nolot J.M., Reau R., Verjux N., 2008b. Evaluation des systèmes de culture en stations et en exploitations agricoles : où en sont les méthodes ? In : R. Reau, T. Doré (Eds.), *Des systèmes de culture innovants et durables : quelles méthodes pour les mettre au point et les évaluer ?* Educagri éditions, Dijon, p. 149-168.

- Deguine J.P., Ferron P., 2006. Protection des cultures, préservation de la biodiversité, respect de l'environnement. Cahiers Agricultures 15, 307-311.
- Dejoux J.F., Meynard J.M., Reau R., Roche R. Saulas P., 2003. Evaluation of environmentally-friendly crop management systems based on very early sowing dates for winter oilseed rape in France. Agronomie 23, 725-736.
- Gerowitt B., 2003. Development and control of weeds in arable farming systems. Agriculture, Ecosystems and Environment 98, 247-254.
- Gerowitt B., Bertke E., Hespelt S.K., Tute C., 2003. Towards multifunctional agriculture - weeds as ecological goods? Weed Research 43, 227-235.
- Loyce C., Rellier J. P., Meynard J. M., 2002. Management planning for winter wheat with multiple objectives (2): ethanol-wheat production. Agricultural Systems 72, 33-57.
- Marshall E.J.P., Brown V.K., Boatman N.D., Lutman P.J.W., Squire G.R., Ward L.K., 2003. The role of weeds in supporting biological diversity within crop fields. Weed Research 43, 77-89.
- Melander B., Holst N., Jensen P.K., Hansen E.M., Olesen J.E., 2008. *Apera spica-venti* population dynamics and impact on crop yield as affected by tillage, crop rotation, location and herbicide programmes. Weed Research 48, 48-57.
- Meynard J.M., 1985. Construction d'itinéraires techniques pour la conduite du blé d'hiver. Thèse de Doctorat, INA P-G, Paris, France, 297 pp.
- Meynard J.M., 2008. Produire autrement : réinventer les systèmes de culture. In : R. Reau, T. Doré (Eds.), Des systèmes de culture innovants et durables : quelles méthodes pour les mettre au point et les évaluer ? Educagri éditions, Dijon, p. 11-27.
- Morison M, 2007. Conduite intégrée du colza d'hiver pour une réduction de l'utilisation des pesticides. Rapport MEDD, 64 pages.
- Munier-Jolain N.M., Chauvel B., Gasquez J., 2002. Long-term modelling of weed control strategies: analysis of threshold-based options for weed species with contrasted competitive abilities. Weed Research 42, 107-122.
- Nolot J.M., Debaeke P., 2003. Principes et outils de conception, conduite et évaluation de systèmes de culture. Cahiers Agriculture 12, 387-400.
- Poudel D.D., Horwath W.R., Lanini W.T., Temple S.R., van Bruggen A.H.C., 2002. Comparison of soil N availability and leaching potential, crop yields and weeds in organic, low-input and conventional farming systems in northern California. . Agriculture, Ecosystems and Environment 90, 125-137.
- Sanyal D., Bhowmik P.C., Anderson R.L., Shrestha A., 2008. Revisiting the perspective and progress of integrated weed management. Weed Science 56, 161-167.
- Saulas P., Meynard J.M., 1998, Production intégrée et extensification sont elles compatibles ? Cas des céréales à paille. Dossier de l'environnement de l'INRA 16, 9-15.
- Sim L.C., Froud-Williams R.J., Gooding M.J., 2007a. The influence of winter oilseed rape (*Brassica napus* ssp. *oleifera* var. *biennis*) canopy size on grass weed growth and grass weed seed return. Journal of Agricultural Science 145, 313-327.
- Sim L.C., Froud-Williams R.J., Gooding M.J., 2007b. The influence of winter oilseed rape (*Brassica napus* ssp. *oleifera* var. *biennis*) cultivar and grass genotype on the competitive balance between crop and grass weeds. Journal of Agricultural Science 145, 329-342.
- Smith R.G., Menalled F.D., Robertson G.P., 2007. Temporal yield variability under conventional and alternative management systems. Agronomy Journal 99, 1629-1634.
- Suter M., Siegrist-Maag S., Connolly J., Lüscher A., 2007. Can the occurrence of *Senecio jacobaea* be influenced by management practice? Weed Research 47, 262-269.
- Teasdale J.R., Coffman C.B., Mangum R.W., 2007. Potential long-term benefits of no-tillage and organic cropping systems for grain production and soil improvement. Agronomy Journal 99, 1297-1305.

Valantin-Morison M., Ferré F., Quéré L., 2004. Améliorer la compétitivité du colza d'hiver vis-à-vis des adventices et réduire l'utilisation d'herbicides. *Oléoscope* 77, 17-19.

Van der Weide R.Y., Bleeker P.O., Machten V.T.J., Lotz L.A., Fogelberg F., Melander B., 2008. Innovation in mechanical weed control in crop rows. *Weed Research* 48, 215-224.