

Comment maîtriser la flore adventice des grandes cultures à travers les éléments de l'itinéraire technique ?

M. Valantin-Morison, L. Guichard, M.H. Jeuffroy

UMR INRA Agroparistech d'Agronomie – Batiment EGER, BP 01 78 850 Thiverval Grignon

Correspondance : muriel.morison@grignon.inra.fr

Résumé

La dépendance aux herbicides des systèmes de culture à base de grandes cultures est avérée et a des conséquences environnementales et agronomiques lourdes pour l'agriculteur et la société. L'objectif de cet article est de montrer que des processus tels que la compétitivité de la culture, l'interruption du cycle des mauvaises herbes de manière mécanique ou biologique peuvent être mobilisés pour maîtriser les mauvaises herbes. Afin de favoriser la compétition de la culture vis-à-vis des mauvaises herbes, plusieurs moyens agronomiques peuvent être utilisés séparément ou de manière associée : favoriser les variétés, les espèces étouffantes, mettre en place des associations d'espèces, associer des modifications de date de semis et de date de fertilisation azotée. Afin de perturber le cycle de vie des adventices, on peut mobiliser les effets des travaux du sol avant semis, le désherbage mécanique. La culture de précédents allélopathiques fait l'objet de travaux récents en agronomie et pourrait constituer un moyen innovant de maîtriser la croissance des adventices de la culture suivante. Enfin, nous discutons les conséquences de ces solutions agronomiques sur d'autres bioagresseurs, sur d'autres pratiques ou sur l'évaluation globale de la durabilité de tels itinéraires techniques.

Abstract

Dependency of cereals crops on herbicides is well known. Concerns about the adverse impacts of herbicides and more largely of pesticides on the environment and their inevitable negative side-effects on non-target organisms have been growing since the 1960's. The objective of this paper is to demonstrate that competitiveness of the crop and weed cycle disturbance can be used to manage weed invasion without herbicides. In order to enhance competitiveness of the crop towards weeds, several crop practices can be combined: choosing species and cultivars, which are known to have smothering effect on weeds, mixing crops (cereals and grain legumes), changing date of sowing and date of nitrogen fertilization. In order to break the weed cycle, in order to reduce or even avoid weed seeds production, relevant choice of soil tillage before sowing, mechanical weeding or relevant period of grassland cutting could be associated with the other solutions quoted before. Moreover, allelopathy properties of some crops have been recently studied and could constitute a key element in the reduction of weed emergence or weed growth in the successive crop. Finally, we discuss the consequences of those crop managements either on disease/pests and on the sustainability of such solutions.

I Les enjeux

Les mauvaises herbes, appelées aussi adventices, sont souvent citées comme un des problèmes majeurs que l'on se place en système de grandes cultures conventionnelle ou biologique. Ces mauvaises herbes sont, en agriculture conventionnelle, gérées de manière préventive par des moyens agronomiques mis en place dans le système de culture mais surtout de manière curative ou préventive par l'utilisation d'herbicides chimiques. La complémentarité des molécules chimiques actives employées

et des méthodes de lutte culturales dans une rotation assure un maintien durable d'un stock semencier faible. Néanmoins, l'application d'un herbicide est un acte technique rapide, relativement peu coûteux, et d'une très bonne efficacité. L'efficacité recherchée lors de l'application d'un herbicide est généralement supérieure à 95 % de mortalité des espèces visées, et bien souvent proche de 100 %. Par ailleurs, les mauvaises herbes sont présentes sur toutes les parcelles cultivées. La technique est donc très largement utilisée et est devenue bien souvent l'unique moyen de lutte contre les infestations. Rares, malgré quelques exemples récents issus de l'agriculture biologique, sont les cultures pour lesquelles le désherbage mécanique est employé. L'usage intense des herbicides et leurs efficacités ont permis aux systèmes de culture d'être considérablement simplifiés, homogénéisés, tant sur le plan de la diversité des rotations des cultures que sur le plan du travail du sol. Si l'on regarde les pratiques agricoles de protection phytosanitaire appliquées actuellement aux grandes cultures au travers des données SCEES, on note que l'IFT (indice de fréquence de traitement) moyen de la sole occupée par de 9 grandes cultures est de 3.9 et que les herbicides occupent 40 % du total d'IFT moyen toutes cultures confondues. Toutes les cultures ne « contribuent » pas à la même hauteur à la pression phytosanitaire : 75 % de l'utilisation des produits phytosanitaires (toutes catégories confondues) est le fait des céréales à paille (blé tendre et orge) et du colza, qui totalisent 70% de la surface (Ecophyto R&D, 2008). Néanmoins, l'ensemble des cultures présente le même niveau d'IFT moyen sur les herbicides, démontrant bien que la maîtrise de l'enherbement reste un facteur sanitaire problématique pour tous les types de culture et que sa gestion s'effectue à l'échelle pluriannuelle de la succession.

Les conséquences de cette utilisation intense d'herbicide sont doubles : une spécialisation de la flore et la contamination du milieu par les résidus de ces matières actives. La flore adventice évolue sous l'effet des pratiques vers une flore souvent qualifiée de 'difficile', soit parce que peu de solutions herbicides efficaces existent sur les espèces sélectionnées par le système (c'est le cas par exemple des bromes dans les systèmes céréaliers sans labour), soit parce que des biotypes résistants apparaissent et se développent (Chauvel *et al.*, 2001a). En outre, le bilan environnemental de cette forte dépendance aux herbicides n'est pas brillant : Les données de contamination des eaux superficielles et souterraines de l'Ifen, bien qu'hétérogènes et non représentatives sur tout le territoire font état d'une contamination quasi généralisée des eaux de surface et souterraines par les pesticides avec une prépondérance des herbicides (source IFEN). La pression sociétale sur ce sujet se traduit par des changements de réglementation, des interdictions des matières actives considérées comme les plus polluantes. En outre, les coûts d'homologation de nouvelles molécules sont tels que peu de nouvelles solutions chimiques verront le jour. Tous ces éléments de contexte se traduisent pour l'agriculteur, par une gamme de solutions techniques limitée, et globalement plus chère. Par conséquent, cette dépendance des grandes cultures aux herbicides doit être réduite et pourrait l'être si l'on en croit les travaux existant sur le sujet.

Cet article fait justement le point (i) des processus mobilisés pour maîtriser sans herbicide la flore adventice au cours du cycle annuel des grandes cultures (compétition / destruction mécanique / allélopathie) et (ii) des éléments de l'itinéraire technique qui permettent de déclencher ces processus.

II Comment ça marche : les processus, les modes d'action ?

Pour analyser les effets des adventices sur les performances d'une culture, on distingue la nuisibilité primaire, qui correspond à un effet indésirable de la population d'adventices sur le produit (rendement ou qualité) de la nuisibilité secondaire qui correspond aux dommages que la flore potentielle ou réelle peut avoir sur la capacité de production ultérieure (augmentation du stock semencier par exemple) (Caussanel, 1989). La nuisibilité primaire s'exerce à la fois sur la qualité et la quantité de la récolte. On distingue alors la nuisibilité directe qui correspond à la diminution de production quantitative (rendement), de la nuisibilité indirecte qui correspond aux autres effets indésirables tels que la diminution de la qualité des récoltes (Caussanel, 1989). Ainsi dans cet article, lorsque nous parlons de

maîtrise des adventices sur le cycle annuel des cultures, nous faisons référence surtout à la réduction des effets directs des mauvaises herbes, c'est à dire la nuisibilité directe.

Nous évoquerons dans cette partie en quoi consistent les objectifs généraux que l'on peut avoir pour un itinéraire technique sans herbicide : favoriser la compétition de la culture semée mais aussi au sens plus large perturber le cycle de vie de l'adventice : la levée, la croissance et la reproduction.

1-La compétition pour les ressources

Le premier processus qui vise à gérer le développement et la croissance des adventices dans un couvert cultivé est la compétition. La compétitivité d'une plante sur une autre se traduit par sa capacité à prélever les ressources (lumière, eau, azote) de manière plus efficace que ses concurrentes. Le port, la hauteur, la vitesse de croissance, la durée du cycle sont des facteurs biologiques intrinsèques à l'espèce qui influencent la compétitivité. La compétition d'une culture sur ces concurrentes s'exprime souvent en termes de réduction du nombre et de la biomasse des adventices et parfois en termes de production de semences.

1-1 Compétition pour l'azote et autres éléments minéraux

Cette forme de d'interaction vise à favoriser la préemption et l'utilisation des ressources du milieu par la culture semée. La compétition pour les ressources en faveur de la plante cultivée s'observe lorsque les adventices et le couvert cultivé utilisent des ressources différentes, ou lorsqu'elles les utilisent à des périodes différentes. En outre, la complémentarité entre les espèces peut également provenir d'un métabolisme photosynthétique différent (C3 et C4), d'une différence dans les profondeurs, les directions (latérales ou verticales) et les densités d'enracinements pour la préemption des ressources du sol et d'une différence de période de développement foliaire et d'activité racinaire (Ofori et Stern, 1987). On peut facilement observer cette complémentarité par rapport à l'utilisation de l'azote, avec une association entre une légumineuse (qui a la capacité de fixer le nitrogène présent dans l'atmosphère) et une céréale par exemple. Si cette compétition pour l'azote est en faveur de la culture, elle se traduit par une croissance, soit une surface foliaire ou une biomasse, plus forte et plus rapide. Il en résulte une meilleure interception de la lumière par la plante cultivée.

A l'inverse, la compétition entre la culture et les adventices est souvent maximale lorsqu'elles partagent les mêmes ressources en même temps. C'est souvent le cas de plantes de la même espèce et dont l'architecture est très proche (blé et vulpin / colza et moutarde sauvage / betterave et chénopode). Ces adventices sont souvent considérées comme problématiques par l'exploitant car (i) leur nuisibilité directe et surtout indirecte peuvent être élevées (ii) les herbicides sont souvent inefficaces et les successions culturales simplifiées les favorisent. Par conséquent, le choix pertinent des éléments de l'itinéraire technique peut reposer sur le choix d'un objectif qui vise à favoriser la compétition de la culture sur ces espèces adventices problématiques.

1-2 Compétition pour la lumière

La compétition pour la lumière est permise par une augmentation de la surface foliaire et de la biomasse de la culture, ce qui se traduit par une meilleure interception de la lumière. La compétition pour la lumière peut aussi être favorisée par une complémentarité de l'architecture de deux ou plusieurs plantes cultivées en mélange. On peut la mesurer par la quantité de rayonnement sous le couvert ou la quantité de rayonnement intercepté par les différentes couches du peuplement cultivé. Cette compétition entraîne un effet d'ombrage sur les adventices, dont la croissance est très perturbée : elles s'étiolent, elles meurent, elles produisent moins de graines même si elles achèvent leur cycle de développement (Dejoux *et al.*, 1999). Parfois même, la diversité des adventices est très réduite.

2- Perturber la croissance et le développement des mauvaises herbes

2-1 Perturber la levée des mauvaises herbes

L'objectif ici est d'empêcher les plantes de lever en perturbant leur milieu et leur environnement. Cela peut se traduire par (i) empêcher l'émergence de la plantule du sol par un enfouissement profond des graines ou une destruction de la graine germée, (ii) priver de lumière par un enfouissement les mauvaises herbes photosensibles, (iii) décaler leurs périodes de dormance par rapport à la culture annuelle semée. Cet objectif générique peut être atteint de différentes manières : mécaniquement par le labour ou/et des « faux semis » ou « biologiquement » par des décalages de semis. Mais l'ensemble de ces mesures agronomiques dites prophylactiques ont des effets partiels qu'il convient de combiner avec d'autres moyens culturaux. Peu d'exemples seront développés dans la partie II de cet article car ils sont largement synthétisés dans Munier Jolain *et al.*, (2005) et également repris ici dans ce même recueil par Munier Jolain *et al.*

2-2 Perturber mécaniquement leur croissance et leur reproduction

L'objectif ici est d'empêcher les plantes d'avoir une croissance optimale et de fabriquer des graines, sans pour autant réduire la croissance de la plante cultivée. Cela se traduit la plupart du temps par une destruction de la plante adventice au cours de son cycle. Cette destruction est permise soit par la fauche lors de la récolte ou la fauche d'inter-culture ou de prairies, soit par le hersage, le binage dans des cultures annuelles avant récolte.

2-3 Perturber biologiquement leur croissance

La perturbation biologique de la croissance des plantes adventices peut être obtenue (i) via la compétition pour les ressources, en particulier la lumière, comme décrit précédemment, ce qui entraîne un étiolement et une forte réduction de la production de semences ou (ii) via l'allélopathie.

L'allélopathie est définie par Rice (1984) comme « tout effet direct ou indirect, positif ou négatif, d'une plante sur une autre à travers la production de composés chimiques libérés dans l'environnement ». Bien qu'ayant souffert pendant longtemps de « speculation, faulty experimentation, and unreasonable conclusions » (Olofsdotter *et al.*, 2001) l'allélopathie est permise par des mécanismes dont la réalité est avérée. La libération de médiateurs chimiques peut avoir lieu alors que la plante productrice est vivante (allélopathie directe, par exemple par exudation racinaire) ou au moment de la dégradation des résidus de la plante productrice, après la mort de celle-ci (allélopathie indirecte). Ces médiateurs chimiques sont principalement des métabolites secondaires (terpènes, alcaloïdes, molécules aromatiques...). Parmi les grandes familles identifiées, les composés phénoliques jouent un rôle essentiel (Inderjit *et al.*, 1996). Les mécanismes d'action des molécules phytotoxiques sur les plantes cibles sont encore peu étudiées : seuls des travaux sur les voies métaboliques affectées sont recensés (Doré *et al.*, 2004).

Une valorisation en grande culture de propriétés allélopathiques de couverts végétaux consiste à implanter un couvert végétal à potentiel allélopathique plusieurs mois avant le semis d'une culture (Doré *et al.*, 2004 ; Delabays et Munier Jolain, 2004) La destruction de ce couvert et l'incorporation des résidus aux couches de sol superficielles juste avant le semis de la culture doit alors avoir l'objectif d'inhiber la croissance des adventices. Des expérimentations conduites au champ ont ainsi montré l'effet inhibiteur très fort de certains couverts végétaux implantés en interculture, comme l'avoine, sur la croissance des adventices dans la culture suivante.

III Quels éléments de l'itinéraire technique mettre en œuvre pour mobiliser ses processus : Illustrations et conditions de réussite

Les processus explicités dans la partie précédente constituent des objectifs que l'on peut assigner aux itinéraires techniques avec peu ou sans herbicides. Mais, chaque objectif peut être atteint par différents moyens. C'est l'ensemble combiné et logique de ces solutions agronomiques à effets partiels qui permettra d'atteindre l'objectif. Cela peut se résumer sous la forme d'un schéma conceptuel de fonctionnement des interactions couvert cultivé – adventices (Figure 1).

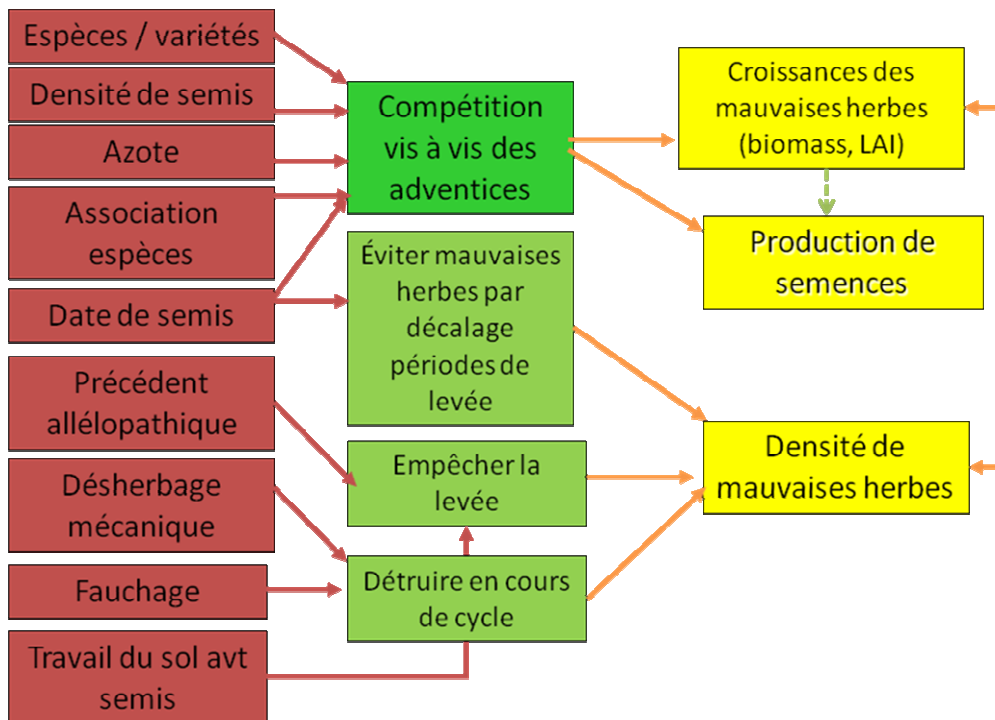


Figure 1 : Schéma de fonctionnement des interactions pratiques / couvert cultivé et mauvaises herbes

1- Les compétitions

Afin d'atteindre dans l'itinéraire technique l'objectif d'accentuer la compétition pour l'eau, l'azote et la lumière de la culture d'intérêt, plusieurs solutions agronomiques peuvent être mises en place séparément ou de manière associée (Figure 1).

1-1 L'effet des espèces

Il existe des espèces plus ou moins « étouffantes » qui peuvent être exploitées dans la rotation. Elles sont souvent caractérisées par une fermeture rapide du couvert, liée à une croissance rapide, un port étalé ou haut qui monte vite, une aptitude à ramifier importante, de larges feuilles. On dit souvent des prairies de graminées et/ou de luzerne, du trèfle, du colza, de la moutarde, des associations céréales légumineuses que ce sont des cultures étouffantes (Fiche stephy du Corpen reprise de Gran-Aymerich, 2006). Elles peuvent être utilisées comme des cultures annuelles de rente ou des inter-cultures ou en culture pluriannuelle. Par exemple, la compétitivité du colza sur les adventices repose sur des caractéristiques telles qu'un port étalé en rosette, puis une montaison et une ramification rapide, un pivot à croissance rapide, une vitesse d'absorption de l'azote élevée et la production de biomasse massive et rapide qui en résulte. Ces caractéristiques de peuplement sont essentiellement influencées par la disponibilité en eau et en azote du sol et par la température, comme cela sera décrit plus loin. Sur les prairies temporaires de Ray-grass/dactyle/fétuque Médienne et Charrier (2008) montrent clairement

que seulement en un an l'abondance, la richesse et la diversité des communautés d'adventices sont réduites. Les adventices pérennes sont de plus en plus favorisées. Meiss *et al.* (2007) confirment que ces modifications rapides de communautés d'adventices annuelles autant sur prairies de dactyle que de luzerne sont liées à des mécanismes de compétition pour la lumière.

1-2 Effet des variétés

Il existe des variétés plus ou moins compétitives : comment se caractérisent-elles ?

Sur blé, Lecomte *et al.* (2000) ont mis en évidence les différences de sensibilité à la concurrence de variété de blé vis-à-vis d'infestation de ray-grass (*Lolium perenne*). Une part de ces différences est expliquée par des différences de précocité de montaison. D'autres critères sont proposés pour expliquer ces différences, comme le port planophile des feuilles, l'aptitude au tallage, la vigueur des plantes dans les phases précoces du cycle, critères qui ne sont pas encore fréquemment renseignés dans les catalogues variétaux. Les variétés hautes sont également plus concurrentielles, mais sont souvent associées à des risques de verse élevés. Elles peuvent cependant être envisagées dans le cadre d'itinéraires techniques à faible niveau de fertilisation azotée, facteur important de gestion du risque de verse. La Figure 2 montre les très nettes différences de comportements variétales du blé sur les adventices, dont la stellaire, adventice majoritaire dans cet essai. On observe que sous les couverts de Virtuose et Apache la biomasse des adventices est significativement réduite. On observe aussi que le mélange variétal permet également d'étouffer les adventices.

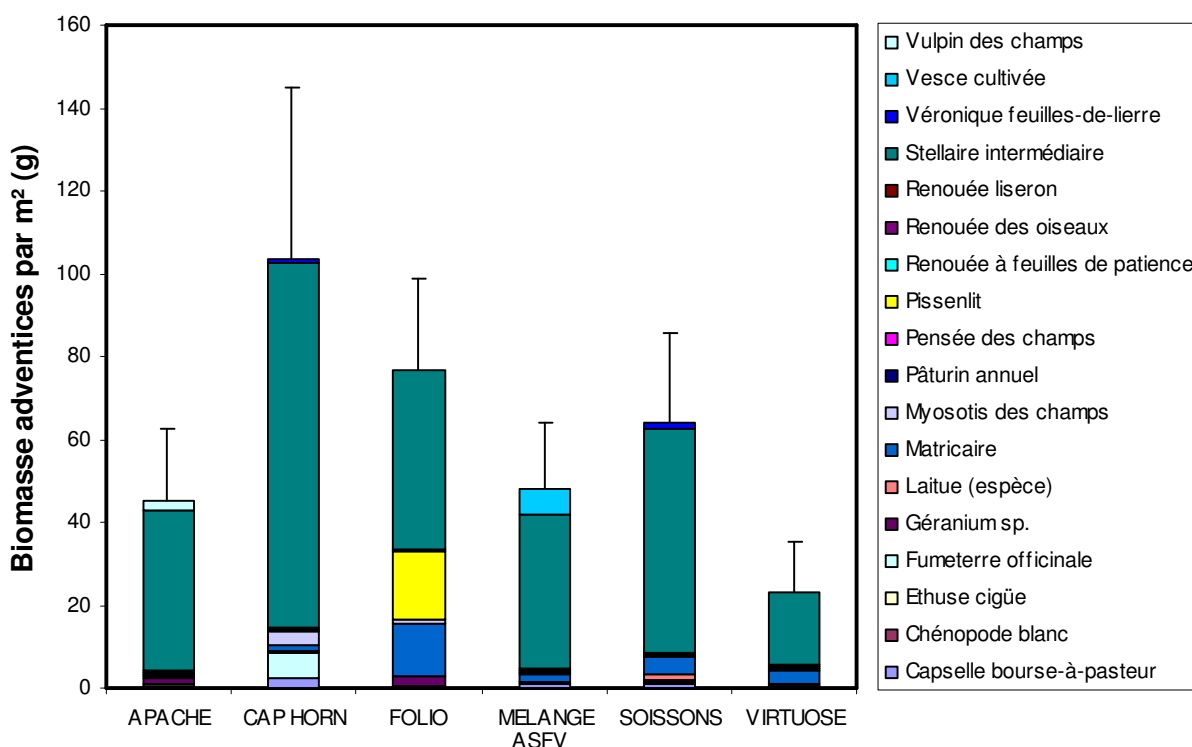


Figure 2 : Biomasse d'adventices par espèces sous différents couverts de variétés de blé. Biomasse mesurée au printemps sur une expérimentation réalisée à Dijon. D'après Munier Jolain, 2006.

Sur colza, peu d'études recensent les différences variétales en matière de capacité concurrentielles. Néanmoins, on parle souvent des variétés hybrides comme étant des variétés au démarrage plus

rapide et à la vigueur végétative plus soutenue (Cetiom, Com perso). En outre ces variétés sont reconnues pour leurs capacités de ramifications très élevées. Une étude récente anglaise (Sim *et al.*, 2007a) a justement mis en évidence des différences marquées et a quantifié les éléments distinctifs des variétés entre elles. Les variétés de colza hautes ou celles avec un couvert végétatif automnale vigoureux sont celles où les deux adventices testées, le ray-grass (*Lolium spp*) et le vulpin (*Alopecurus myosuroides*) présentaient la croissance la plus faible en terme de biomasse, nombre d'épis ou de hauteur. Ces deux variétés se caractérisaient, à même densité, par un couvert dont le LAI, la biomasse étaient les plus élevées et par une part d'interception du PAR de la couche superficielle fleurie était également maximum.

1-3 Effet de la densité de semis

La compétition pour les ressources peut être accentuée par des densités de semis des cultures pures (Le Corre et Assémat, 2000), ou des associations plus élevées afin d'explorer le milieu de manière plus complète. Néanmoins, ces semis denses présentent l'inconvénient de favoriser un micro climat favorable aux maladies. Par le biais de l'écartement, des compromis sont possibles. Par exemple, Munier Jolain (2001) a montré qu'à densité équivalente, les cultures implantées de Lupin (*Lupinus albus* L.) avec un faible écartement entre les rangs (12.5 cm contre 24 ou 50), et donc une répartition sur la surface de la parcelle plus homogène, sont plus concurrentielles : la biomasse de l'adventice des Panic de Coq (*Echinochloa crus-galli*) était divisé par deux.

Dans le cas des associations, une densité globale du peuplement plus élevée ainsi qu'une architecture complémentaire entre la céréale et la légumineuse permettent une plus grande interception de la lumière donc une fermeture plus rapide du couvert. Des études menées sur les associations pois/maïs et pois/orge montrent que les associations interceptent une part plus importante de rayonnement photosynthétiquement actif que les cultures pures (Tsubo *et al.*, 2001 ; Tsubo et Walker, 2004 ; Poggio, 2005). Cet effet d'ombrage induit par les associations limite la croissance des mauvaises herbes ainsi que leur diversité (Goldberg et Miller, 1990).

Sur colza, la densité de semis testée en interaction avec différentes dates de semis et dose d'azote au semis n'influence pas la quantité d'azote absorbé en entrée hiver mais favorise des biomasses de colza à des stades précoces plus fortes (Dejoux, 1999). En parcelles agricoles biologiques, Valantin-Morison et Meynard, 2008 (voir aussi Valantin-Morison *et al.*, 2003) montrent par le diagnostic qu'en cas de parcelles fortement enherbées, une densité de plantes de colza trop faible inférieure à 30 pieds/m² conjointement à une faible disponibilité en azote du milieu peut réduire la compétition de cette culture vis-à-vis d'une flore naturelle diversifiée.

1-4 L'effet conjoint azote date de semis

Dans le cas du colza des études anciennes sur flore naturelle ou semée (Ferré *et al.*, 2000) et plus récentes sur le ray-grass et le Vulpin (Sim *et al.*, 2007b) montrent combien l'effet de l'interaction date de semis x azote à l'automne peut influencer la compétitivité de la culture vis-à-vis de certaines adventices. L'avancement du semis d'un mois et la forte disponibilité en azote au semis ont pour conséquence l'installation rapide d'une surface foliaire élevée et d'une forte biomasse du colza (Figure 3-A). L'indice foliaire des semis avancés se maintient supérieur à celui des peuplements semés à date normale jusqu'au début de l'hiver. En revanche, l'absence d'une grande quantité d'azote disponible sur un semis précoce (Date 1-N0) ne permet pas d'atteindre une surface foliaire équivalente à celle obtenue avec un semis à date normale avec le même apport d'azote au semis. Cette interaction forte entre la date de semis et l'azote donne des résultats antagonistes de l'avancement de la date de semis. Le fort développement foliaire des colzas avec forte disponibilité en azote a ainsi provoqué une compétition

pour la lumière sur les adventices présentes, d'où un étouffement des peuplements d'adventices dont la biomasse et la densité baissent (Figure 3B). En revanche, l'apparition de carences azotées fortes trop tôt avant le début de l'hiver peut mettre en péril cette stratégie d'étouffement. De tels scénarios ont été observés sur des réseaux de parcelles agricoles conventionnelles et biologiques sur des sols superficiels ou des sols ayant reçu des amendements organiques peu riches en azote (Valantin-Morison et Meynard, 2008 ; Valantin Morison et Ferré. 2004).

Dans le cas des associations, la céréale est plus compétitive vis-à-vis de l'azote inorganique du sol, et donc la légumineuse fixe préférentiellement le N₂ atmosphérique (Hauggaard-Nielsen *et al.*, 2001). La complémentarité des espèces de l'association a pour conséquence de limiter le nombre de ressources disponibles pour les autres espèces, comme les adventices, et ainsi de capturer une plus grande quantité et une plus large gamme de ressources que les monocultures. Hauggaard-Nielsen *et al.*, (2001) ont montré que les facteurs de croissance des plantes étaient de 25 à 38 % plus efficacement utilisés par les associations (céréales / légumineuses) que par les cultures pures. Il en résulte une meilleure compétition de l'association sur les adventices (Figure 4).

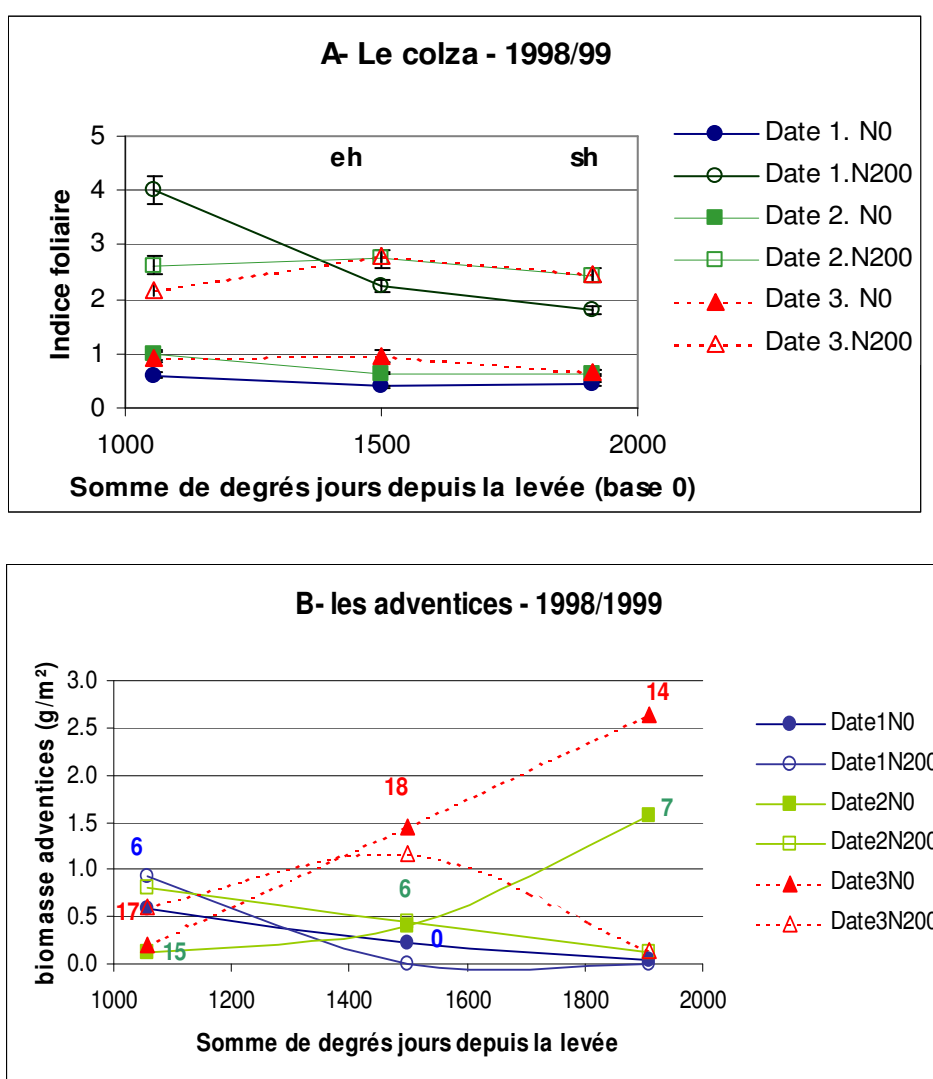


Figure 3 : Effet de la date de semis et l'azote au semis sur (A) l'indice foliaire du colza et (B) la biomasse des adventices durant l'automne jusqu'en sortie hiver (sh) – Les chiffres en couleur correspondent aux densités moyennes des adventices dont la biomasse est représentée graphiquement. Date 1 = 31 juillet ; Date 2 = 17 aout ; Date 3 = 31 aout. N0 = aucun apport au semis ; N200 = 200kg apporté au semis. (Pour en savoir plus Ferré et al., 2000).

En outre, la compétition de l'association vis-à-vis de l'azote est également favorisée par une différence de date de semis avec la culture pure.

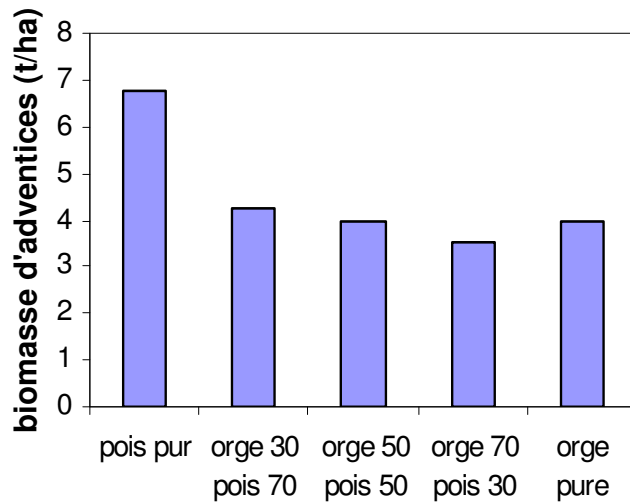


Figure 4 : Biomasse d'adventices mesurée sous des couverts de culture pure ou d'association avec la même densité que les cultures pures mais contenant entre 30 et 70% de pois. Travaux de Corre-Hellou réalisés à Angers dans le cadre d'un projet européen Intercrop : www.intercrop.dk

2- Perturber la croissance et le développement des mauvaises herbes

2-1 Perturber la levée des mauvaises herbes

On peut perturber la levée des adventices soit en les détruisant avant ou juste au moment de la levée soit en réunissant les conditions de milieu *défavorables* à leur levée.

Les techniques qui permettent d'atteindre ces objectifs sont connues de longue date et reprises dans Munier Jolain *et al.* (2005). Ce sont les faux semis, le labour et les décalages de date de semis. Pour un grand nombre d'espèces, à l'exception de la folle avoine, la profondeur maximale d'enfouissement compatible avec la levée est inférieure à 5 cm. En outre, certaines espèces, comme les bromes, présentent une photosensibilité très forte, et ne germent donc pas si elles sont enfouies à quelques centimètres. Le labour permet donc de diviser par 10 la densité de levées de vulpin des champs dans une culture de blé au cours d'une expérimentation menée sur une parcelle très infestée (Chauvel *et al.*, 2001b). Le faux semis est également utilisé et complète l'effet du labour efficacement. Il consiste à préparer un lit de semences assez fin pour faire germer les graines d'adventices, qui seront ensuite détruites juste avant le semis de la culture.

Presque toutes les espèces adventices des champs cultivés présentent des périodes préférentielles de levée marquées, déterminées par la saisonnalité de l'évolution des taux de dormance des semences, et par les gammes de température favorables à la germination. A part quelques exceptions capables de lever toute l'année - pâturin annuel (*Poa annua*), stellaire (*Stellaria media*) -, les espèces qui se développent et se multiplient ne sont pas les mêmes dans les cultures de céréales d'hiver, dans les cultures semées tôt au printemps (orge de printemps, pois de printemps) et dans les cultures semées en avril-mai (tournesol, soja, maïs) (Munier Jolain *et al.*, 2005). Ces exigences biologiques sont parfois assez marquées et peuvent également se percevoir en changeant les dates de semis du blé et du colza d'un mois par exemple. Ainsi, la Figure 5 montre comment, en avançant la date de semis du colza, la croissance et la multiplication d'adventices automnales (géranium) ou estivales (amaranthe) peuvent être respectivement défavorisées ou favorisées.

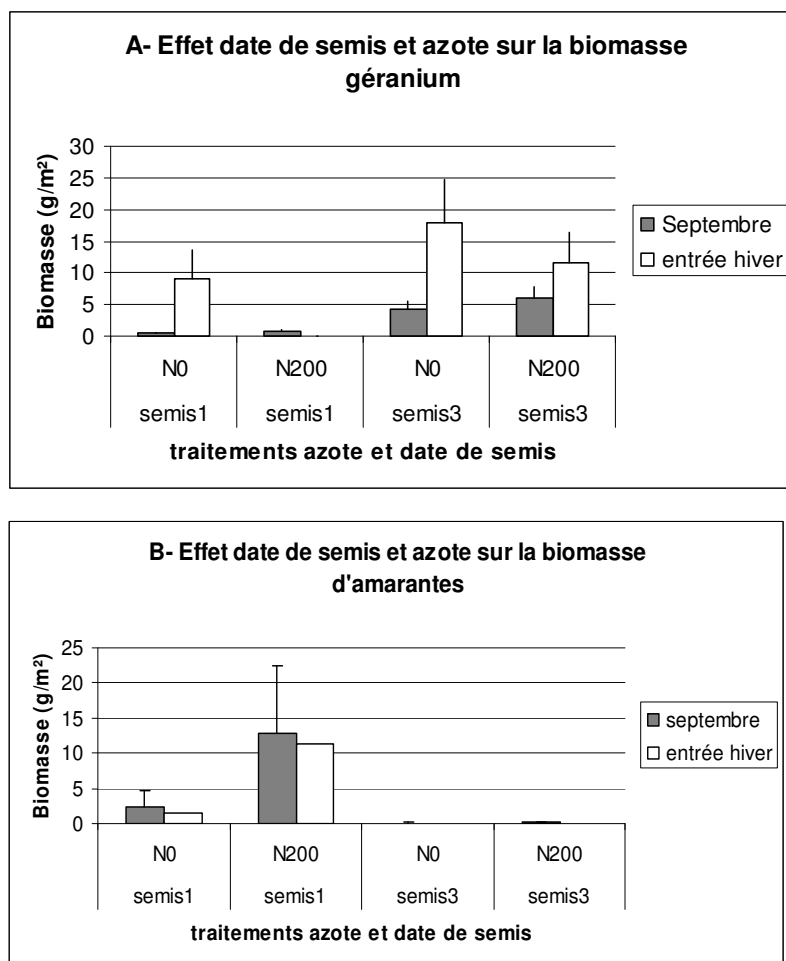


Figure 5 : Effet de l'azote au semis et de la date de semis sur la (A) croissance en biomasse des Géraniums et (B) des Amarantes en automne – (Pour en savoir plus voir Dejoux *et al.*, 1999)

2-2 Perturber mécaniquement leur croissance et leur reproduction

Un certain nombre d'actes techniques en cours de cultures peut perturber la croissance et *in fine* la reproduction des adventices. Il s'agit par exemple du fauchage, de la fertilisation de prairies temporaires de graminées ou de luzerne (Mediene, 2008, Meiss *et al.*, 2008). Sur la Figure 6, on observe l'influence majeure du mode de conduite de la prairie temporaire sur l'abondance et la diversité des adventices, notamment le désherbage et le nombre de fauches de luzernière et leurs dates (Médiène, 2008). Meiss *et al.* (2008) détaillent les effets de la fauche sur la croissance, la reprise de végétation de plusieurs adventices annuelles avec ou sans l'effet compétition de la prairie mixte dactyle-luzerne. Les variations de reprise de végétation sont systématiquement liées aux variations de biomasse et de hauteur initiales avant fauche. En outre, les adventices plus âgées sont moins sensibles à la fauche.

Le désherbage mécanique (hersage, binage, houe rotative) sur des cultures annuelles comme le maïs, le colza, le tournesol peut interrompre le cycle de vie des adventices. Ils sont depuis longtemps employés en agriculture biologique en complément d'autres solutions agronomiques. Ces dernières années, un certain nombre d'essais au champ en agriculture conventionnelle ont été suivis sur ces cultures par le Cetiom, ce qui a permis de caractériser la sélectivité et l'efficacité de ces outils mécaniques. Lieven *et al.* (2008) proposent une grille d'utilisation des outils de désherbage mécanique sur colza, maïs, tournesol en fonction de l'outil, du stade de la culture, des adventices et de la texture et de l'humidité du sol (Voir également le guide descriptif de ces outils sur le site du Cetiom).

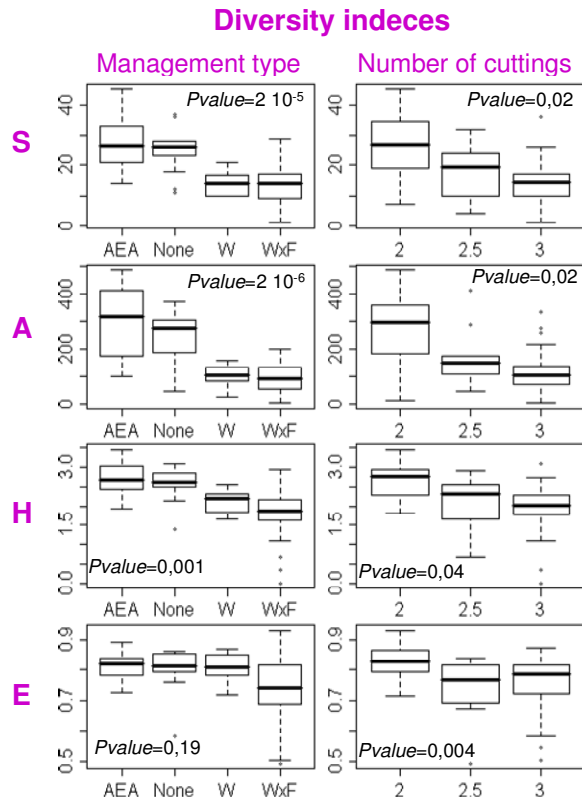


Figure 6 : Effet de la conduite de la prairie (Crop management à gauche) et du nombre de fauche annuel moyen (Number of cuttings, à droite) sur la richesse spécifique (S), l'abondance (A), l'indice de diversité de Shannon (H) et l'équitabilité (E) des communautés adventices observées dans des parcelles agricoles en luzerne de la zone de Chizé (plaine sud de Niort). AEA : Agri-Environmental Agreement (parcelles en CAD pour la sauvegarde de l'outarde canepetière, avec une période longue sans intervention agricole); None : aucun traitement; W : chemical weed control (désherbage chimique); WxF : chemical weed control and fertilization (désherbage chimique et fertilisation).

2-3 Perturber biologiquement leur croissance et leur reproduction

De nombreuses études ont permis de mettre en évidence les propriétés allélopathiques de couverts végétaux. Delabays *et al.* (1998) ont par exemple observé, lors d'expérimentations en pots sous serre, que l'adjonction au terreau de culture de 1 % (en poids sec) de résidus végétaux de *Artemisia annua*, de *Bromus tectorum* ou de *Sanguisorba minor*, pouvait inhiber la croissance en biomasse de plantules de mauvaises herbes (amarante et chénopode) de 80 à 90 %. En étudiant les effets inhibiteurs de lignées d'*Artemisia annua* différant uniquement par leur teneur en artémisinine, la même équipe a mis en évidence le rôle de cette molécule dans les effets observés (Delabays et Mermillod, 2001). Ces auteurs soulignent les possibilités de sélection rapide de génotypes à forte teneur en métabolites secondaires à effets allélopathiques potentiels.

Dans la réalité du champ cultivé, il semble bien que les inhibitions de croissance observées au laboratoire soient bien plus difficiles à expliciter. Doré *et al.* (2004) résument les raisons de ces différences entre conditions contrôlées et champ agricole. La première difficulté est liée aux interactions multiples entre deux espèces qui cohabitent ou qui se succèdent : comment distinguer allélopathie et compétition par exemple. La deuxième difficulté tient au fait que, même s'il existe une production de composés dont on a montré en conditions contrôlées l'action dépressive sur les fonctions biologiques d'espèces cibles, cela ne signifie pas pour autant que cet effet s'exprime au champ. Pour cela, il faudrait qu'au moment opportun les quantités disponibles de ces molécules dans le milieu soient suffisantes, et que la plante cible soit dans un état de sensibilité adéquat. Enfin, la troisième difficulté est liée à l'intervention d'autres organismes vivants dans le système : les composés phytotoxiques peuvent aussi avoir des origines microbiennes, indépendantes de la présence d'une culture.

Néanmoins, des expérimentations ont ainsi montré l'effet inhibiteur très fort de certains couverts végétaux implantés en interculture, en particulier de couverts d'avoine et d'épeautre, sur la croissance des adventices dans la culture suivante (Figure 7 – Munier Jolain *et al.*, 2005).

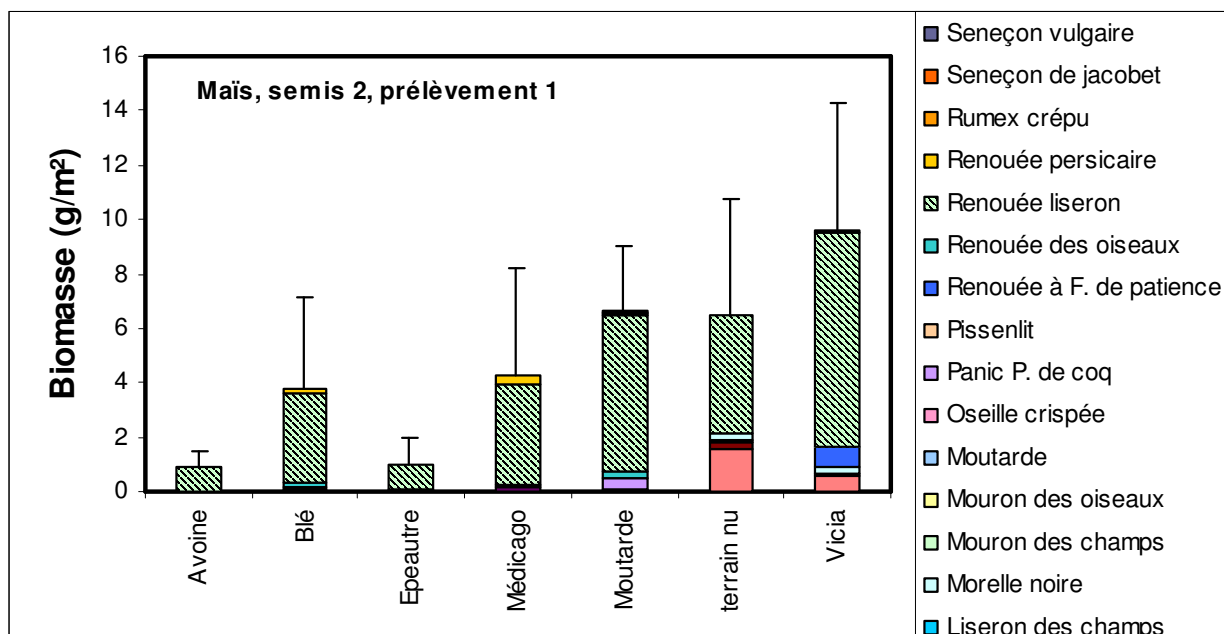


Figure 7 : Effet du couvert végétal pendant l'hiver précédant le semis de la culture sur la biomasse des adventices dans le maïs au mois de juillet. Les couverts végétaux ont été semés au mois d'octobre, détruits par broyage et incorporés au sol juste avant le semis du maïs. Les différentes couleurs correspondent aux différentes espèces présentes sur la parcelle d'essai, dominées par la renouée liseron (hachures). Les barres verticales représentent un écart-type.

IV Effets induits sur d'autres bioagresseurs ou induits par l'interaction avec d'autres pratiques

1-Effets antagonistes de ces nouvelles pratiques avec d'autres bioagresseurs

Les solutions agronomiques identifiées ci-dessus pour maîtriser la flore adventice ont parfois des effets antagonistes sur d'autres bioagresseurs. Ces effets induits connus sont résumés dans le tableau 1 ci-dessous.

Tableau 1 : Bilan des effets antagonistes sur d'autres bioagresseurs ou sur la croissance de la culture des moyens agronomiques partiels détaillés ci-dessus

Objectif	Moyens	Effets antagonistes			
		Blé	Orge	Colza	autres
Favoriser la compétition de la culture	Décaler les dates de semis	Effet + du Semis précoce sur maladies	Effet + du S précoce sur maladies	<ul style="list-style-type: none"> • Effet + du Semis précoce sur mouche du chou et supposé sur les pucerons • Attention aux espèces adventices estivales 	Effet + sur insectes du sol des cultures de printemps
	Augmenter la densité de semis	Effet + sur les maladies	Effet + sur les maladies	Effet + sur les maladies comme sclerotinia	
	Apporter de l'azote	Effet + sur les maladies	Effet + sur les maladies	<ul style="list-style-type: none"> • Effet + supposé sur le sclerotinia • Attention aux espèces adventices nitrophiles 	

				favorisées	
	Variétés plus couvrantes, plus hautes	Attention à la verse Antagonisme entre choix de variétés tolérantes aux maladies et aux insectes			
Perturber le cycle des mauvaises herbes	Précédent allélopathique				Effet dépressif sur la croissance du suivant maïs ou soja
	Désherbage mécanique	Pertes de pieds	Pertes de pieds	Pertes de pieds	

2-Conséquences de l'enherbement d'une parcelle sur les besoins en azote de la culture

En agriculture biologique, voire en agriculture conventionnelle en cas de fortes infestations de mauvaises herbes, la concurrence pour l'azote entre culture et adventices peut être telle que l'on peut légitimement se poser la question des conséquences sur la flore (croissance et production de semences) et la culture et donc de l'intérêt d'une fertilisation azotée de printemps. La question est d'autant plus pressante en agriculture biologique que l'azote apporté est coûteux et que la qualité du blé en dépend. Casagrande (2008) a établi une relation entre la densité d'adventices à un stade très précoce du blé biologique et la probabilité de dépasser un rendement ou une teneur en protéine. Cette relation permet ensuite de définir la fertilisation azotée la plus appropriée compte tenu de la pression de mauvaises herbes.

3-Conséquences de ces nouvelles pratiques sur les autres critères de la durabilité : énergie et temps de travail

Les solutions agronomiques décrites ici ont presque toutes des conséquences supposées et reconnues sur l'organisation du travail (décalage date de semis, implantation d'inter-culture ou de précédent allélopathique) ou l'énergie utilisée (travail du sol avant semis et désherbage mécanique). Ces itinéraires techniques réduisant l'utilisation d'herbicides doivent donc être évalués sur plusieurs critères : performance économique bien entendu, mais aussi énergie (efficacité, coût), temps de travail (durée, conflit de chantier), valeur agronomique (objectif atteint, effets induits non souhaités, effets à long terme sur la flore). C'est en partie ce vers quoi s'orientent et se sont orientés un certain nombre de travaux comme ceux du RMT Systèmes de culture Innovants, faisant suite au projet Casdar du même nom, ceux sur l'expérimentation système à Dijon, ceux sur les itinéraires techniques intégrés du colza (Projet Casdar 2009-2011)

Remerciements : Ce bilan de connaissances n'aurait pas pu être réalisé sans la participation de nombreux collègues, tels que N. Munier Jolain, B. Chauvel, N. Colbach, T. Doré, S. Médiène, J.F. Dejoux, F. Ferré, M. Casagrande. Nous les remercions de nous avoir permis d'illustrer leurs travaux. Un certain nombre d'expérimentations ont été réalisées pour acquérir ces connaissances ; nous remercions donc l'ensemble des techniciens qui ont assuré le suivi de ces expérimentations, à la fois sur Dijon et sur Grignon. Enfin, un certain nombre d'agriculteurs ont accepté d'accueillir des essais, d'expliquer leurs pratiques, nous leurs en sommes également reconnaissants.

Références bibliographiques

Casagrande M., 2008. Evaluation précoce des performances du blé biologique (rendement et teneur en protéines) : une approche combinée de diagnostic agronomique, de modélisation à l'aide

d'indicateurs de nuisibilité et d'études des pratiques dans les exploitations agricoles. Thèse de Doctorat AgroParisTech, 136 p.

Chauvel B., Biju-Duval L., Jouy L., 2001b. Gestion des populations de vulpins résistants : quelles possibilités offrent les pratiques culturales ? *Phytoma*, 544 : 30- 34.

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

Dejoux J.F., 1999. Evaluation agronomique environnementale et économique d'itinéraires techniques du colza d'hiver en semis très précoces, Thèse de Doctorat INA P-G Paris 243p.

Dejoux J.F., Ferré F., Meynard J.M., 1999. Effects of sowing date and nitrogen availability on competitiveness of rapeseed against weeds in order to develop new strategies of weed control with reduction of herbicide use, 10th International rapeseed congress, Canberra (Australia), 1999/09/26-29, CD-Rom New horizons for an old crop

Delabays N., Ançay A., Mermillod G., 1998. Recherche d'espèces végétales à propriétés allélopathiques. *Rev suisse Vitic Arboric Hortic* 6, 383-387.

Delabays N., Mermillod G., 2001. Mise en évidence, au champ, des propriétés allélopathiques de l'*Artemisia annua* L. In: XVIIIème conférence du COLUMA, Journées Internationales sur la Lutte contre les Mauvaises Herbes, 269-275.

Delabays N., Munier-Jolain N., 2004. Inhibition de la croissance des mauvaises herbes après incorporation au sol de résidus végétaux: allélopathie ou modification du cycle de l'azote. XIXème Conférence du COLUMA, Journées internationales sur la Lutte contre les Mauvaises Herbes, AFPP.

Doré T., Sène M., Pellissier F., Gallet C., 2004. Approche agronomique de l'allélopathie, *Cahiers Agricultures* 13, 249-256.

Ecophyto R&D, travail en cours

Ferré F., Doré T., Dejoux J.F., Meynard J.M., Grandeau G., 2000. Evolution quantitative de la flore adventice dicotylédone au cours du cycle du colza pour différentes dates de semis et niveaux d'azote disponible au semis. 11ème colloque international sur la biologie des mauvaises herbes, Dijon (France), 06-08 septembre 2000

Goldberg D.E., Miller T.E., 1990. Effects of the different resource additions on species diversity in an annual plant community. *Ecology* 71, 213-225.

Gran-Aymerich L., 2006. Solutions agronomiques limitant le recours aux herbicides. Mémoire de fin d'études Agro Montpellier.

Guide simplifié de techniques alternatives de désherbage des cultures. 2008. Chambre d'agriculture de Cote d'or. Disponible sur le site internet du Cetiom.

Hauggaard-Nielsen H., Andersen M.K., Jornsgaard B., Jensen E.S., 2006. Density and relative frequency effects on competitive interactions and resource use in pea-barley intercrops. *Field Crops Research* , 95 : 256-267 .

Inderjit S., Keating K.I., 1996. Allelopathy: principles, procedures, processes and promises for biological control. *Advances in Agronomy* 67, 141-231.

Le Corre V., Assémat L., 2000. Predicting weed seed production from spatialized data: a case study using *Setaria viridis* and *Solanum nigrum* in maize. In: XIème Colloque International sur la Biologie des Mauvaises Herbes, p 297-304.

Lecomte C., Heumez E., Pluchard P., 2000. Identification de différences génotypiques dans la réponse aux contraintes environnementales : cas de la concurrence due aux mauvaises herbes dans une culture de blé tendre d'hiver. In : Maillard P., Bonhomme R. (Eds.), *Fonctionnement des peuplements végétaux sous contraintes environnementales*. INRA, Paris, p. 539-558.

- Lieven J., Quéré L., Lucas J.-L., 2008. Oilseed rape weed integrated management: concern of mechanical weed control. International Endure congress: diversifying crop protection. 13-15 octobre 2008 La Grande Motte France. www.endure-network.eu.
- Médiène S., 2008, Analysis of weed diversity in alfalfa (*Medicago sativa*). In: Hopkins A. *et al.* (Eds.), 22nd General Meeting of the European Grassland Federation. Uppsala (Sweden), p 141-143.
- Médiène S., Charrier X., 2008, Weed flora dynamics during the first years of grassland establishment. In: Hopkins A. *et al.* (Eds.), 22nd General Meeting of the European Grassland Federation. Uppsala (Sweden), p. 278-280
- Meiss H., Naulin C., Waldhardt R., Caneill J., Munier-Jolain N., 2008. Arable weeds are controlled by perennial forage crops due to different mechanisms. 11th European Ecological Conference of the European Ecological Federation. 15-19 September 2007, Leipzig, Germany
- Meiss H., Munier-Jolain N., Henriot F., Caneill J., 2008. Effects of biomass, age and functional traits on regrowth of arable weeds after cutting. *Journal of Plant Diseases and Protection, Special Issue XXI*, 493-499
- Munier-Jolain N.M., Chauvel B., Gasquez J., 2005. Stratégies de Protection Intégrée contre les adventices des cultures : le retour de l'agronomie. In: Regnault-Roger C. (Ed.), *Enjeux phytosanitaires pour l'agriculture et l'environnement*, Lavoisier, Paris, p. 411-430.
- Munier-Jolain N., Kubiak P., Maillet-Mézeray J., Quéré L., Rodriguez A., Brochard A., Muchembled C., Verdier JL, 2006. Decid'Herb : un logiciel d'aide au choix d'une méthode de lutte contre les mauvaises herbes pour une agriculture respectueuse de l'environnement. 3ème Conf Int. sur les moyens alternatifs de Protection des Cultures, AFPP, Lille, 13-15 mars 2006
- Ofori F., Stern W.R., 1987. Cereal-legume intercropping systems. *Advances in Agronomy* 41, 41-90.
- Olofsdotter M., Mallik A.U., 2001. Allelopathy symposium: introduction. *Agronomy Journal* 93, 1-2.
- Poggio S.L., 2005. Structure of weed communities occurring in monoculture and intercropping of field pea and barley. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 109, 48-58.
- Rice E.L., 1984. *Allelopathy*. 2nd ed. Orlando (Florida), Academic Press, Inc., 424 p.
- Sim L.C., Froud-Williams R.J., Gooding M.J., 2007a. The influence of winter oilseed rape canopy size on grass weed growth 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 cultivar and grass genotype on the competitive balance between crop and grass weeds. *Journal of Agricultural Science* 145, 329-342.
- Tsubo M., Walker S., 2004. Shade effects on *Phaseolus vulgaris* L. intercropped with *Zea mays* L. under well-watered conditions. *Journal of Agronomy and Crop Science* 190, 168-176.
- Tsubo M., Walker S., Mukhala E., 2001. Comparisons of radiation use efficiency of mono-/intercropping systems with different row orientation. *Field Crops Research* 71, 17-29.
- 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
- Valantin-Morison M., Grandeau G., Meynard J.M., 2003. La conduite du colza en agriculture biologique : une utopie ou bientôt une réalité ? *Alter Agri* juillet Août 2003
- Valantin-Morison M., Meynard J.M., 2008. Yield variability of Organic Winter Oil Seed Rape (WOSR) in France: a diagnosis on a network of farmers fields. *Agronomy for Sustainable Development* 28 (2008) DOI: 10.1051/agro:2008026