

Année de publication 2024



LIVRET GRANDES CULTURES

Leviers de gestion préventive de la problématique posée par les adventices en grandes cultures biologiques



PRÉPARÉ ET PRÉSENTÉ PAR

Le Centre wallon de Recherches agronomiques

Table des matières

1. Introduction	3
2. Les stratégies d'épuisement.....	5
2.1. La rotation, un point d'entrée incontournable pour une gestion préventive des adventices	5
2.2. Les faux semis	11
2.3. Les déchaumages successifs après récolte.....	11
2.4. Limiter les importations.....	13
3. Les pratiques associées à la stratégie d'étouffement	18
3.1. Le couvert d'inter-culture : une culture multifonctionnelle également au service de la maîtrise des adventices	18
3.2. Les cultures associées à une culture de service	20
3.3. Les associations de cultures.....	22
3.4. Le choix variétal	22
3.5. La densité de semis, la qualité de la levée et les écartements interlignes.....	23
4. Les pratiques associées à la stratégie d'évitement.....	24
4.1. Le décalage de la date de semis	24
4.2. La couverture du sol en permanence, les cultures en relais (relay cropping).....	25
4.2. La couverture du sol en permanence, les cultures en relais (relay cropping).....	26
4.3. Le travail du sol	27
4.4. Le semis direct, réduire au maximum le travail du sol.....	29
4.5. Le striptill, localiser le travail du sol.....	30
4.6. Le couvert permanent.....	31
5. Le cas particulier de la gestion des adventices pérennes	32
5.1. Mobiliser des couverts et cultures avec un pouvoir de compétition élevé pour lutter contre les adventices pérennes.....	34
6. Développement d'une approche intégrée de définition de systèmes de cultures pour limiter le développement des adventices	41
7. Conclusion	44
Références et ressources.....	45

1.Introduction

Dans un contexte de réduction et plus encore d'interdiction d'utilisation d'intrants chimiques, en vue de préserver biodiversité, qualité des eaux et santé, la maîtrise des adventices et des méthodes qu'elle mobilise sont des facteurs-clés de la productivité en grandes cultures (Basilico, 2016). Dans un tel contexte, l'adage « mieux vaut prévenir que guérir » prend toute son importance. L'objectif de ce document est dès lors d'explorer, de passer en revue les leviers mobilisables par les agriculteurs afin d'assurer la maîtrise des adventices par une gestion préventive tout en acceptant que, pour certaines adventices, viser l'éradication ou le « zéro adventices » n'est pas un objectif (Casagrande et al, 2017). Il s'agit donc de vivre avec les adventices plutôt que sans.

En effet, comme le soulignent ces auteurs, il faut que le salissement soit acceptable à l'échelle de la culture, avec un impact limité sur le rendement et la qualité de récolte, tout en étant maîtrisé à l'échelle de la rotation (limiter la montée à graines afin d'empêcher la régénération des stocks de semences). Les objectifs à atteindre varient, bien entendu, avec la nuisibilité des espèces. Ainsi une tolérance plus importante sera appliquée vis-à-vis des véroniques que de la folle avoine. L'essentiel est de limiter le développement des adventices durant la phase critique des cultures (tableau 1) afin de minimiser l'impact sur le rendement de la culture en place. Les adventices qui émergeront après la période critique n'affecteront pas le rendement de la culture (Réseau d'avertissements phytosanitaires, 2015). La démarche préventive impose en outre de considérer le cortège d'adventices présent au regard de sa nuisibilité pour les cultures suivantes.

Tableau 1. Période critique durant laquelle l'absence d'adventice est cruciale dans les grandes cultures (Réseau d'avertissements phytosanitaires, 2015)

Culture	Période critique d'absence d'adventices
Maïs	2 à 8 feuilles
Soja	Stade 1 à 3 feuilles trifoliées (V2-V3)
Céréale de printemps	Stade 1 à 3 feuilles (stade 10 à 13 sur l'échelle de Zadok)
Blé d'hiver	500 à 1000 degrés-jours (température de base de 0°C)
Cultures fourragères	Année d'établissement : 4 à 6 semaines après le semis
Colza	De la levée au stade 6 feuilles

Par ailleurs, des résultats récents (Gaba et al., 2020) soulignent que le maintien d'une certaine abondance et diversité d'adventices permet d'améliorer l'expression de différentes fonctions de régulation des agro-écosystèmes (pression de prédation sur les graines d'adventices ou les pucerons, activité enzymatique et vie des sols,) sans, néanmoins, pouvoir mettre en évidence de relation entre les rendements obtenus et le niveau d'expression de ces fonctions. Adeux et al. (2019) observent une réduction de la biomasse totale des adventices et de leur nuisibilité parallèlement à une augmentation de la diversité des espèces adventices présentes.

La gestion préventive des adventices nécessite la mise en œuvre d'une combinaison de stratégies qui sera fonction de la culture, de sa place dans la rotation, du contexte de sol et de climat, ... Elle doit rester en ligne de mire tout au long de la rotation, tout écart pouvant porter à conséquence sur une période plus ou moins longue et nécessiter la mobilisation de mesures curatives tel que le désherbage mécanique, thermique, électrique, manuel ou l'utilisation de bio-herbicides, La description de ces mesures curatives ne fait pas partie de cette note.

Les leviers disponibles dans la boîte à outil de l'agriculteur afin d'assurer la gestion préventive des adventices relèvent de trois stratégies. Il faut toutefois garder à l'esprit qu'une technique particulière peut mobiliser simultanément plusieurs stratégies :

(1) Stratégie d'épuisement visant à limiter le stock de semences d'adventices et/ou la constitution de réserves à la base de la reproduction végétative des adventices vivaces :

- Agencement de la rotation en visant l'alternance de cultures de printemps, d'été et d'hiver et l'alternance de labour et de non labour ;
- Allongement des rotations et/ou intégration de phases de cultures pérennes (prairies temporaires) ;
- Faux semis et déchaumages ;
- Utilisation de semences non contaminées par des semences d'adventices ;
- Entretien des bordures de champs afin d'éviter la colonisation par des espèces vivaces (rumex, chardons, ...) ;
- Étêtage (ou écimage) en cours de culture ;
- Récolte des menues pailles...

(2) Stratégie d'étouffement cherchant à concurrencer le développement des adventices une fois levées :

- Utilisation de couverts d'inter-cultures diversifiés compétitifs, qui occupent la place ;
- Association de la culture avec des plantes compagnes plus compétitives vis-à-vis des adventices que vis-à-vis de la culture (cultures associées) ;
- Cultiver et récolter plusieurs espèces en mélange (associations de cultures) ;
- Mise en œuvre de striptill vivant (un couvert d'inter-culture spécifique est semé à l'endroit de la future ligne de semis) ;
- Utilisation de variétés compétitives (tallage, port des feuilles, vigueur à la levée, ...) et mélanges de variétés ;
- Augmentation des densités de semis.

(3) Stratégie d'évitement visant à limiter la levée de dormance des stocks de graines en place :

- Décalage des dates de semis (plus précoces ou plus tardives) ;
- Couverture du sol en permanence, les cultures en relais (relay cropping) ;
- Le semis direct (réduire au maximum le travail du sol)
- Strip-till (seule la ligne de semis est travaillée) ;
- Dissociation du travail du sol et du semis dans le temps et dans l'espace ;
- Le maintien d'un couvert pérenne vivant pendant plusieurs années consécutives (couvert permanent)

Nous abordons ci-après différents leviers techniques appartenant à ces trois stratégies. Ils devront être combinés tout au long de la rotation de manière à réduire le besoin en mesures curatives et les risques d'échec dans la gestion des adventices à l'échelle du système de culture.

Soulignons que les points développés ci-après, bien que primordiaux en agriculture biologique, bénéficieront également largement aux systèmes conventionnels vu la réduction du nombre de molécules d'herbicides agréées et l'émergence d'un nombre non négligeable de phénomènes de résistances au niveau des adventices. Ainsi, en février 2016, 249 espèces végétales (144 dicotylées et 105 monocotylées) avaient développé des phénomènes de résistance (Heap, 2016).

2. Les stratégies d'épuisement

Cette stratégie a pour but la régulation du stock de graines d'adventices (ou d'organes de reproduction végétative) viables dans le sol. Cette régulation vise non seulement à maintenir un stock semencier à un niveau bas mais aussi à éviter qu'une espèce d'adventice devienne dominante et endémique, ce qui revient à entretenir une grande diversité d'adventices à un niveau bas de stock semencier. Les pratiques mises en œuvre consistent à favoriser une perte de pouvoir germinatif (par ex. le labour), à favoriser leur germination à un moment où elles sont vulnérables (par ex. le faux semis), à limiter les importations (par ex. l'entretien des bords de champs) ou la multiplication de nouvelles semences sur la parcelle. Pour ce qui est des organes de reproduction végétative, les actions mises en œuvre consistent à épuiser leur réserve énergétique indispensable à la constitution d'une nouvelle plantule autonome (par ex. déchaumage). Chaque technique est plus ou moins efficace sur une espèce d'adventice donnée ce qui implique, pour rencontrer l'exigence de diversité, de les combiner.

2.1. La rotation, un point d'entrée incontournable pour une gestion préventive des adventices¹

“Rotation of crops...is the most effective means yet devised for keeping land free of weeds. No other method of weed control, mechanical, chemical, or biological, is so economical or so easily practiced as a well-arranged sequence of tillage and cropping.”

— C.E. Leighty. 1938 Yearbook of Agriculture

¹ En ce qui concerne la vulgarisation de ce point, nous ne pouvons que conseiller la diffusion des fiches publiées par Agro-Transfert sur le sujet en 2011

Raisonner les successions de cultures en alternant les périodes de semis/récoltes pour éviter de sélectionner d'année en année une communauté d'adventices dont les cycles sont synchrones avec ceux des cultures

Une rotation correspond à la répétition dans le temps et sur une parcelle donnée, d'un cycle d'enchaînement de cultures d'année en année. Elle fournit les bases d'une gestion raisonnée, sur le long terme, de la problématique posée par les adventices. Ses effets sont, entre autres, liés à la variation des dates de semis et de récolte (été, automne, hiver, printemps) et à la possibilité d'utiliser des modes de désherbage différents et complémentaires (hersage, binage,...) (Chauvel et al., 2018). Cette diversité évite la sélection d'une flore adventice spécialisée et concurrentielle adaptée au cycle des cultures et, dès lors, plus difficile à détruire (Agro-transfert, 2011a). En effet, certaines espèces germent plutôt l'automne voir en hiver. Elles sont inféodées aux cultures semées en arrière-saison. Il en est de même au printemps (figure 1). Chauvel et al. (2018) soulignent néanmoins la nécessité d'un découpage temporel plus fin. En effet, la flore adventice d'un colza semé fin août sera différente de celle d'un froment d'hiver semé début novembre. Ces auteurs indiquent également le lien existant entre la période de germination et la persistance des semences dans le sol, caractérisée par leur Taux Annuel de Décroissance (TAD). Ainsi les espèces qui germent à l'automne - principalement des graminées – produisent, à l'exception du pâturin, des semences peu persistantes dans le sol à l'inverse des dicotylées qui germent principalement au printemps. Cela explique que l'introduction d'une culture de printemps dans une rotation composée principalement de cultures d'automne aura un impact plus marqué que l'inverse. Afin de mieux connaître la flore adventice présente sur vos parcelles ainsi que leurs caractéristiques biologiques (période et profondeur de germination, persistance des semences viables dans le sol, etc) et leur nuisibilité, nous ne pouvons que vous conseiller l'ouvrage coordonné par Sicard et al. (2012). Le tableau 2 ci-après reprend néanmoins ces caractéristiques ainsi que la profondeur de germination potentielle (superficielle < 5 cm ou profonde) qui est fonction de la taille des semences, pour différentes espèces rencontrées dans nos cultures (Mischler et al., 2007).

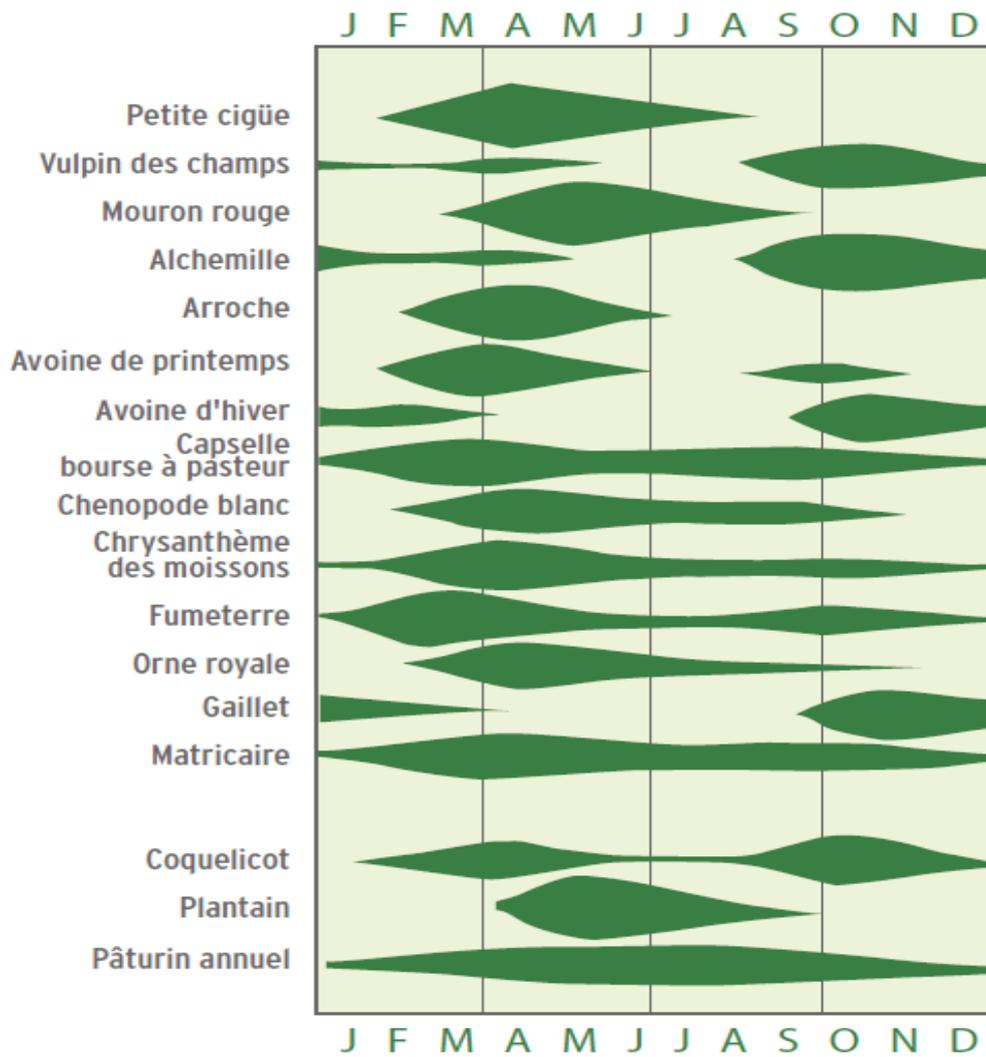


Figure 1. Période de levée préférentielle de différentes adventices (Source : Chadoeuf, Barralis et Longchamp in Agro-Transfert, 2011a)

Tableau 2. Période de levée principale, persistance des semences viables dans le sol (Taux annuel de décroissance du stock de graines(TAD)) et profondeur de germination (Mischler et al., 2007)

Adventice	Période de levée principale*	TAD* (%)	Profondeur de germination *
Agrostis jouet du vent	Sept-Déc	36	Superficielle
Folle avoine	Sept-Oct / Fév-Mars	71	Profonde
Brôme stérile	Août-Octobre	95	Superficielle
Pâturin annuel	Août-Mai	50	Superficielle
Ray-grass anglais	Août-Oct. / Fév-Mai	61	Superficielle
Vulpin des champs	Sept-Nov / Fév-Mars	70	Superficielle
Chénopode blanc	Mars-Juin	35	Moyenne
Ethuse cigue	Sept-Oct / Fév-Avril	41	Profonde
Fumeterre officinale	Août-Oct / Fév-Avril	31	Moyenne
Gaillet grateron	Sept-Nov / Fév-Mars	81	Moyenne
Géranium sp	Août-Octobre	22 à 95	Moyenne
Matricaire camomille	Août-Oct / Fév-Mars	34	Superficielle
Mercuriale	Mars-Juin	31	Moyenne
Morelle noire	Mai-Juillet	25	Moyenne
Renouées sp	Fév-Mai	23 à 43	Moy à Profonde

* Périodes, valeurs et profondeurs indicatives

Source : INRA Dijon

Ainsi, un minimum de 5 cultures dans la rotation, présentant des dates de semis contrastées, permettrait de maintenir la densité des adventices sous contrôle (figure 2).

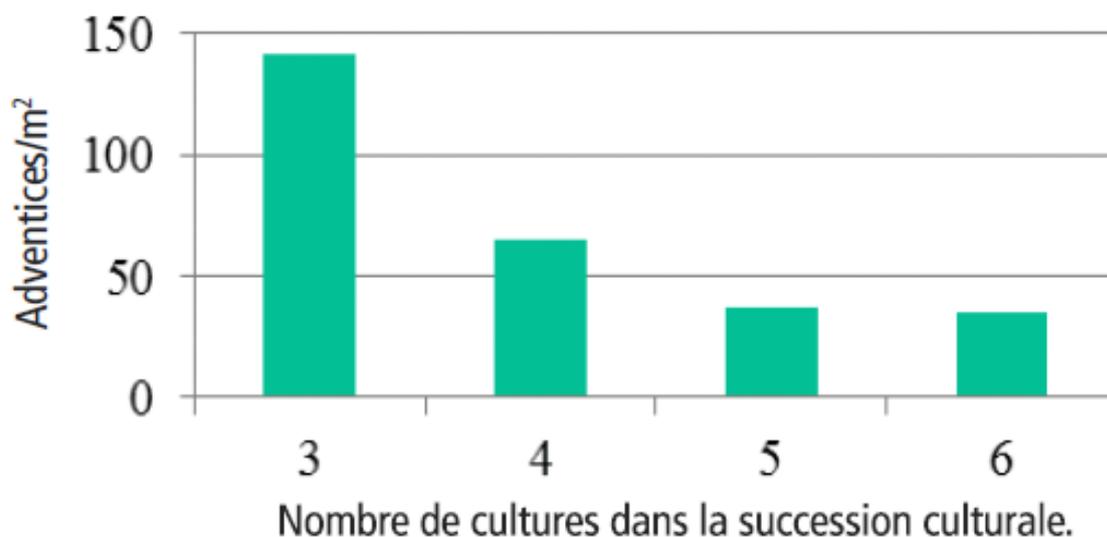


Figure 2. Densité d'adventices avant semis de céréales d'hiver en fonction de la longueur de la succession culturale (Christophe David in Agro-Transfert , 2011a)

L'allongement et la diversification de la rotation est un levier de première importance dans les systèmes de cultures et plus encore dans les systèmes conduits en agriculture biologique.

Dans ce cadre, des références sont tout particulièrement nécessaires pour les systèmes de grandes cultures sans élevage. En effet, dans les systèmes de polycultures-élevage, l'intégration de prairies temporaires pluriannuelles dans les rotations permet de contrôler la dynamique de nombreux adventices (Meagan et al., 2017) (figure 3). Ces prairies prolongent la période durant laquelle la mortalité des semences enfouies et la compétition contre les plantules émergentes peut s'exercer (Chauvel et al., 2018) et limitent la production de nouvelles semences.

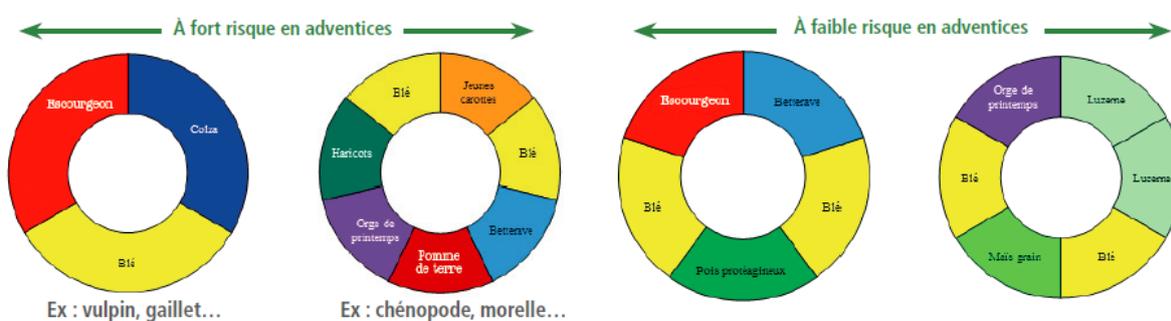


Figure 3. Successions culturales en lien avec les pressions attendues de la part des adventices (Agro-Transfert, 2011a)

Outre l'allongement des rotations en tant que tel, l'agencement des successions de cultures peut avoir un impact sur la longueur des inter-cultures (courtes (icc) ou longues (icl)) et sur le développement et la diversité des adventices. Citons par exemple des successions culture d'hiver (H) et de printemps (P) binaires ($H \& icl \Rightarrow P \Rightarrow H \& icl^2 \Rightarrow P$), mieux adaptées aux systèmes avec labour systématique, ou quaternaire ($H \& icc \Rightarrow H \& icl \Rightarrow P \& icc \Rightarrow P$), mieux adaptées aux systèmes sans labour ou avec labour 1 année sur 2.

Bien que la rotation puisse être planifiée des années à l'avance, elle est, la plupart du temps, dynamique, adaptée au cours du temps. En effet, les agriculteurs adaptent les cultures mises en place en réponse, principalement, aux évolutions du marché, aux contrats disponibles, etc.

² Icl = interculture longue, icc = interculture courte

Notons que l'introduction d'une nouvelle culture dans la rotation nécessite d'acquérir de la technicité et parfois du matériel spécifique tout comme elle peut nécessiter une réorganisation du travail. Néanmoins, cela peut permettre de répartir le travail et de donner plus d'autonomie à l'agriculteur. En effet, comme le soulignait un agriculteur (in Agro-Transfert, 2011a) :

« La construction d'une rotation à base d'agronomie permet de gérer les parcelles non pas au coup par coup, mais à partir d'une stratégie étalée dans le temps. Le regard porté sur la succession des cultures n'est plus l'examen de photos annuelles successives, mais bien la compréhension d'un film où les actions d'une année conditionnent le scénario futur. »

Les prairies temporaires : des cultures clés dans la rotation

La possibilité d'intégrer une prairie temporaire dans la rotation est un levier majeur pour la lutte contre les adventices. Ce levier, facile à mettre en œuvre dans les systèmes polycultures-élevage de ruminants, peut également s'envisager dans des systèmes de grandes cultures qui mettent en place des collaborations avec des systèmes d'élevage spécialisés.

Des études menées à ce sujet mettent en avant que les prairies temporaires permettent de réduire l'abondance des adventices à des valeurs proches de celles rencontrées dans des cultures désherbées (Doisy et al., 2015) à condition de produire suffisamment de biomasse que pour exercer une forte compétition (Schuster et al., 2020). Bien que cette dynamique d'évolution des communautés adventices semble rapide, avec une forte réduction des espèces annuelles dès la deuxième année de prairie, il est conseillé de maintenir cet agroécosystème en place durant trois ans au minimum si l'on veut enregistrer des changements perceptibles dans le stock semencier et donc sur les risques de développement des adventices dans les cultures suivantes. Neuf ans représenteraient un idéal à ce niveau (Chauvel et al., 2018). Doisy et al. (2015) soulignent néanmoins que, suite à une absence de perturbation du sol, les prairies temporaires limitent les possibilités de gestion des adventices pérennes (rumex, ...). De même, les espèces annuelles ayant un port en rosette (laiteron, capselle bourse-à-pasteur, pissenlit, ...) sont moins bien contrôlées suite à la mise en place de cet agroécosystème (Chauvel et al., 2018).

Les espèces choisies pour la composition de ces prairies temporaires vont impacter la facilité d'implantation, le pouvoir couvrant et la complémentarité des niches occupées tant par la strate racinaire qu'aérienne. Ce choix jouera un rôle important dans la capacité à contrôler le développement présent et futur des adventices. Ainsi les luzernières s'avèrent très efficaces sur l'élimination des chardons dans les systèmes de grandes cultures.

2.2. Les faux semis

Pour les systèmes de culture en non-labour permanent, il y a lieu de porter encore plus d'attention aux leviers offerts par la diversification de la succession de cultures, l'ajustement des dates de semis et le travail superficiel du sol durant les périodes d'inter-culture (Agro-Transfert, 2011e). Ce travail du sol / faux-semis, sur une faible profondeur avec un rappuyage afin de stimuler la levée des adventices en vue de les détruire lors du passage suivant, doit permettre de réduire le stock semencier dans cet horizon travaillé. Il faut néanmoins bien cibler les fenêtres d'intervention afin de limiter le repiquage des adventices si le délai entre deux passages est trop important et/ou que les conditions sont trop humides. Une légère humidité est néanmoins nécessaire afin de stimuler la germination des semences : cette technique ayant une efficacité limitée en condition très sèches (Agro-Transfert, 2011e). Il faut également souligner que l'implémentation d'inter-cultures longues limite les possibilités de réaliser plusieurs passages de travail superficiel du sol (Agro-Transfert, 2011e). La mise en œuvre de ce levier va dépendre, au-delà des conditions de sol et de climat, de la flore adventice visée et des fenêtres d'intervention disponibles tout au long de la rotation.

2.3. Les déchaumages successifs après récolte

Par ailleurs, Agro-Transfert (2011e) a comparé, entre deux cultures d'hiver, l'efficacité de 3 déchaumages par rapport à un déchaumage suivi de l'implantation d'une interculture courte de moutarde ou de vesce (figure 4). Les résultats obtenus au travers de 15 essais montrent que la répétition des déchaumages superficiels permet de détruire trois fois plus d'adventices par rapport aux modalités avec un seul déchaumage suivi d'une interculture.

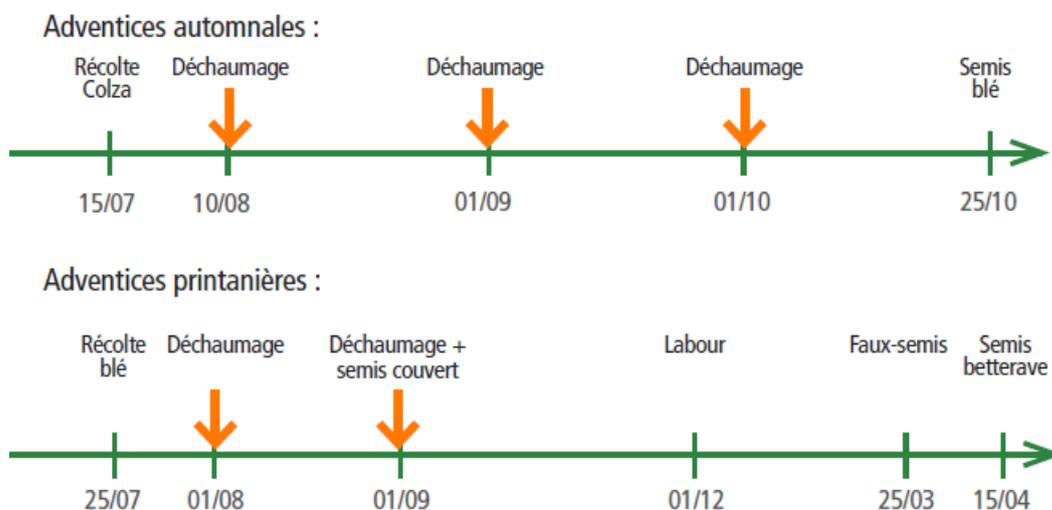
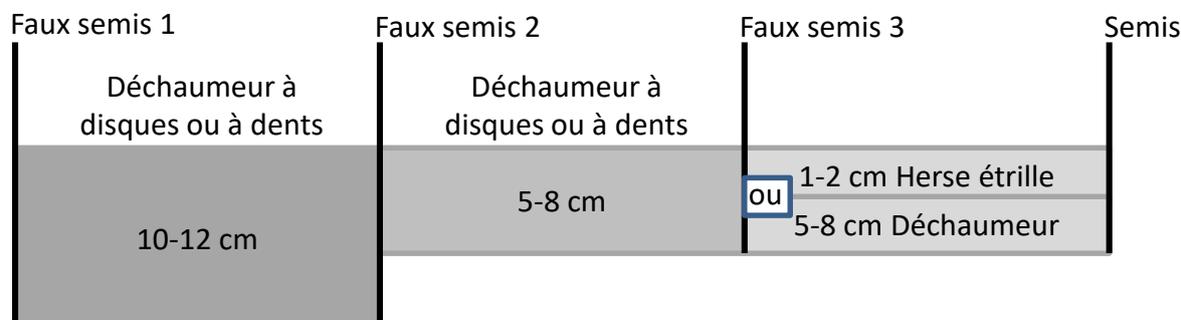


Figure 4. Exemple de positionnement de travaux superficiels du sol en fonction des adventices visées et des successions de cultures (Agro-Transfert, 2011e)

Chauvel et al. (2018) soulignent, pour la mise en place de faux semis successifs, la nécessité de ne jamais travailler plus profondément que lors du passage précédent (figure 5) afin d'éviter de faire remonter de nouvelles semences. Le dernier passage doit donc être superficiel. Ces auteurs attirent également l'attention sur le fait qu'il faut éviter de réaliser le semis avec un combiné dont la herse rotative va re-mélanger les horizons superficiels !



L'efficacité du travail superficiel sur la levée et la destruction des adventices va également dépendre du type d'outil mobilisé (tableau 3). Il faut également savoir qu'en présence de vivaces, les outils à disques ont tendance à sectionner les rhizomes entraînant leur multiplication tandis que les outils à dents remontent les rhizomes à la surface ce qui en facilite le dessèchement (Agro-Transfert, 2011e).

Tableau 3. Efficacité relative de différents outils afin de mener à bien des travaux de sol superficiels pour limiter le développement des adventices (Arvalis-Institut du Végétal et ITAB in Agro-Transfert, 2011e)

Type d'outils	Profondeur de travail (cm)	Faux semis	Destruction des adventices annuelles
Cover-Crop avec rouleau	4 - 5	Assez bon	Bon
Déchaumeur à disques indépendants	3 - 4	Bon	Assez bon
Néo-déchaumeur	4 - 5	Assez bon	Très bon
Outil à dents vibrantes socs ou patte d'oie	4 - 5	Bon	Très Bon
Herse de déchaumage	1 - 2	Assez bon	Assez bon

Comme le soulignent Chauvel et al. (2018), la technique du faux semis présente néanmoins des limites. Ainsi, en arrière-saison, il y a lieu de réduire l'intensité et le nombre de passages car l'affinage excessif du sol peut favoriser la formation d'une croûte de battance, augmenter le temps de ressuyage et retarder la date de semis de la culture. De même, au printemps, des passages trop nombreux risquent de détruire la structure du sol (tassement, croûte de battance si affinage excessif, ...) et d'assécher le sol. Si les conditions ne sont pas propices à la

réalisation d'un faux-semis, il est préférable de passer avec un déchaumeur à faible profondeur avant de finir par un passage de herse étrille.

2.4. Limiter les importations

L'entretien des bordures de champ et la gestion des apports de matières organiques

Un deuxième point d'attention concerne la gestion et l'entretien des bordures de champ en les fauchant/broyant avant la maturation des semences d'adventices (Agro-transfert, 2011c). Les auteurs soulignent que le maintien en herbe de ces zones permet aussi de créer des refuges pour les auxiliaires de cultures. Une gestion spécifique est alors nécessaire pour atteindre cet objectif qui peut, dans certains cas, entrer en conflit avec l'objectif de prévention contre le développement des adventices.

Les fumiers représentent d'autres vecteurs de semences d'adventices contenues dans les fourrages consommés. Dans ce cadre la réalisation d'un compostage, préalablement à son épandage, permet, suite à la montée en température qu'il induit, de détruire une grande partie des semences concernées (Agro-Transfert, 2011c ; Luxen *et al.*, 2006).

L'écimage des adventices dans la culture avant la production de semences viables

Une fois la culture développée, il faut intervenir au-dessus de la culture. L'écimeuse est un moyen de rattrapage qui permet d'améliorer la qualité de la récolte. Elle coupe l'inflorescence des plantes indésirables pour stopper la montée à graines et éviter leur dispersion (chardons, rumex, chénopodes, ray-grass, vulpins, folle avoine...), de limiter la biomasse verte à la récolte et une meilleure dessiccation de la culture dans le cas, par exemple, de présence d'ambrosie, d'amarantes ou de chénopodes dans du soja. Les passages d'écimeuse sont efficaces dès qu'il y a un décalage de hauteur entre la culture et l'adventice.

Dans le cas du chardon un passage au stade bouton floral peut suffire à le pénaliser, l'optimum est de le sectionner juste avant une pluie, afin que l'eau pénètre dans la plante et entraîne son pourrissement. Dans le cas de la folle avoine et des graminées en général, il faut prévoir deux passages au minimum : le premier au moment de la chute des premières étamines des maitres brins (avant que la graine ne soit viable), le second et les suivants en fonction de l'émergence des épis secondaires (Menetrier *et al.*, 2016).

L'intervention se fait entre 1 mois et demi et 10 jours avant la récolte. L'inconvénient rencontré avec cette technique est qu'il faille rouler sur la culture et cela occasionne donc des dégâts. Aujourd'hui, il existe des écimeuses de grande largeur (> 20m) et d'autres qui exportent le matériel coupé limitant au maximum la dissémination des graines après la coupe (<https://www.entraid.com/articles/lentente-pour-lecimage>).

La moissonneuse-batteuse est un des vecteurs important de contamination

Il y a lieu de bien la nettoyer entre chaque parcelle selon Deschamps et al. (2017). Ces derniers décrivent les étapes nécessaires pour mener à bien cette opération en 30 minutes (figure 6). Il en est de même pour les outils de travail du sol susceptible de transférer des semences et/ou fragments d'organes, notamment d'adventices vivaces, d'une parcelle à l'autre. Il est également préférable de travailler les parcelles et bords de parcelles les plus sales en dernier.

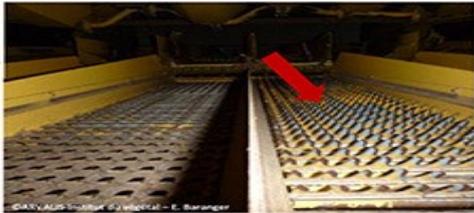
1 Placer la machine sur un chemin ou une zone non cultivée.
Nettoyer le fond de la barre de coupe et le dessus du convoyeur.



2 Ouvrir et vider le bac à pierre sous le convoyeur.



3 Si la machine est équipée de grilles réglables : les ouvrir à fond. En cas de grilles à trous les sortir pour nettoyage.



4 Ouvrir les trappes des pieds d'élevateur et des vis de retour.



5 Nettoyer l'intérieur de la trémie si besoin (formation d'amas dans les angles) et ouvrir la trappe de vidange si présente.



6 *Pour les machines conventionnelles :*
Nettoyer les grilles supérieures des secoueurs :
amas de pailles/barbes/graines d'adventices
accumulés dans les angles.

Pour les machines à rotors :
Vérifier les éventuelles accumulations via les
trappes d'accès.



7 Vérifier qu'aucune personne n'est présente à proximité de la machine et la mettre en marche.
Régler les vents, le batteur (ou les rotors) à la vitesse maximale tout en montant
et descendant plusieurs fois la barre de coupe et en faisant tourner la vis de vidange.
Il est préférable de répéter deux fois (ou plus) cette action pendant 30 secondes avec
une brève interruption entre chaque opération plutôt qu'une seule fois sur un grand laps
de temps.

8 Arrêter la machine et attendre l'arrêt complet des différents organes. Refermer les
trappes d'accès. Finir de nettoyer l'extérieur de la machine : dessus du déflecteur du
broyeur et de l'essieu arrière.




Temps estimé à 20 - 30 minutes

Figure 6. Huit étapes pour nettoyer efficacement une moissonneuse-batteuse en 30 minutes
(Deschamps et al., 2017)

Exporter les semences d'adventices contenues dans les menues pailles

La menue paille est produite lors de la moisson des céréales, du colza, etc. Elle est composée de glumes, glumelles, brindilles de paille, petits grains de la culture et graines d'adventices. Des dispositifs sont mis en place afin de les collecter en sortie de la moissonneuse batteuse et de les exporter. Une à deux tonnes de menue paille peuvent être collectées par hectare avec la possibilité d'être valorisées par l'alimentation animale, sous forme de litière pour l'élevage, de biocombustible (balles, granulés ou briquettes), etc (Agro-Transfert, 2011c).

Des essais réalisés par Arvalis à ce niveau soulignent une réduction des densités de repousse de céréale et d'adventice, en l'occurrence du ray-grass, suite à la mise en œuvre de cette technique (<https://www.semencesdefrance.com/actualite-semences-de-france/adventices-recolter-les-menues-pailles-a-bien-un-interet-a-long-terme/>). Néanmoins, il a fallu plusieurs années d'application avant que l'effet ne se marque (figures 7 et 8) tant sur la densité de l'adventice étudiée que sur les rendements observés.

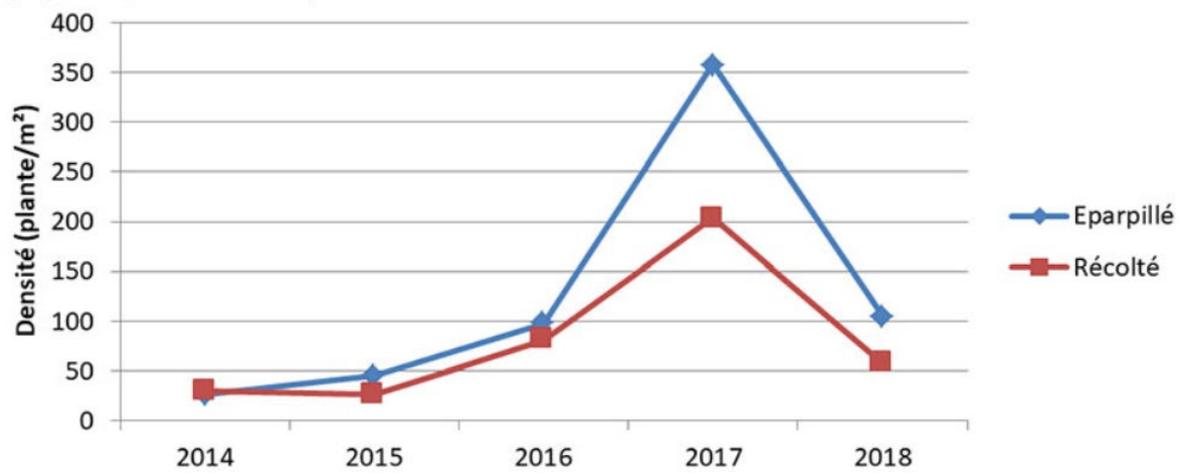


Figure 7. Evolution de la densité de ray-grass avant récolte en lien avec la chronologie de l'essai et les modalités de gestion des menues pailles (éparpillées ou récoltées) (Arvalis)

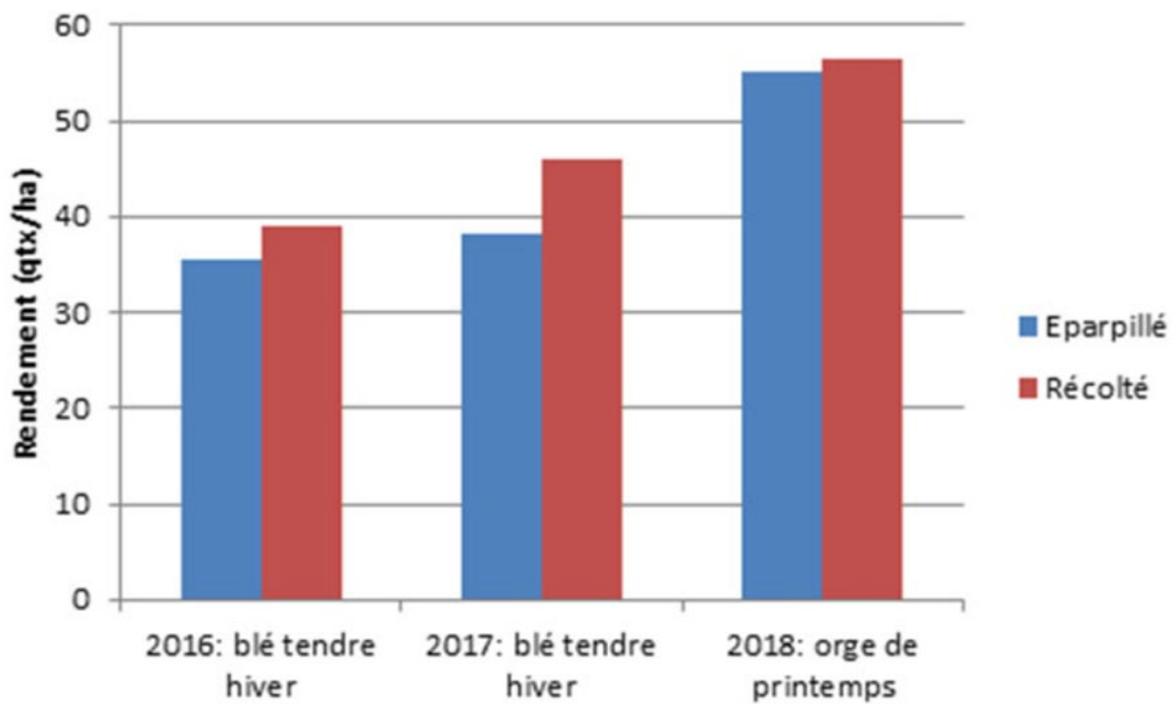


Figure 8. Rendements des céréales en fonction de la modalité de gestion des menues pailles (Arvalis)

3. Les pratiques associées à la stratégie d'étouffement

Cette stratégie consiste à renforcer la compétitivité des cultures et des couverts d'inter-cultures vis-à-vis des adventices qui ont échappé aux mesures d'épuisement et ont par conséquent conservé leur capacité de germination ou d'implantation dans les parcelles. Elle vise donc à limiter le développement végétatif et la capacité reproductives des adventices déjà levées, autrement dit leur nuisibilité à court et à long terme.

3.1. Le couvert d'inter-culture : une culture multifonctionnelle également au service de la maîtrise des adventices

Entre deux cultures commercialisables, il y a souvent une période, l'inter-culture, où le sol est libre pour réaliser différents types d'opérations culturales. C'est notamment la place des couverts d'inter-cultures dont la mise en place stimule la levée des adventices annuelles et des repousses de céréales sous l'action d'un travail superficiel du sol. Si le couvert est suffisamment dense et rapide dans son implantation, il peut étouffer les plantules d'adventices en empêchant leur développement par compétition pour la lumière, l'eau et les éléments nutritifs. Pour que le couvert d'inter-culture soit efficace il doit être semé le plus tôt possible après la récolte du précédent avec néanmoins le risque de manquer d'eau pour un bon démarrage du couvert. Il peut aussi y avoir compétition avec d'autres opérations généralement réservées à cette période comme la récolte des pailles, l'apport d'amendements et, dans le cas de présences importantes d'adventices vivaces, des déchaumages répétés au cours de l'été. La date de destruction du couvert au printemps doit tenir compte de l'éventualité d'un printemps sec et être réalisé 3 à 4 semaines avant le semis de la culture suivante.

On distingue différents types d'inter-cultures suivant la longueur de la période et leur position saisonnière.

1. Les inter-cultures ultra courte (< 1 mois), ne permettent pas l'implantation d'un couvert :

- en octobre, entre une culture de printemps à récolte tardive (maïs, pomme de terre, betteraves, poireaux, carottes) et une culture d'hiver semée l'automne (céréales et protéagineux d'hiver) ;
- en été entre une culture récoltée tôt (+pois de conserverie, protéagineux d'hiver, céréales d'hiver) et un colza ou dans le cas d'une double culture (céréale suivie de sarrasin) ;
- au printemps dans le cas d'une double culture (Ray-grass Italien suivi de maïs, épinard suivi de haricot).

2. Les inter-cultures courtes (< 3-4 mois), l'implantation d'un couvert est possible :

- En été, entre un pois de conserverie ou un protéagineux d'hiver et une céréale d'hiver. Dans ce cas, l'implantation d'un CIPAN après récolte est obligatoire si le précédent est récolté avant le 1^{er} août. Ce type d'inter-culture, de par sa précocité et le reliquat d'azote important laissé par le précédent, offre l'opportunité d'obtenir, avec des couverts diversifiés (multi-espèces), des biomasses très importantes avant la fin de l'automne et, dès lors, un effet nettoyant efficace.
- En été, entre deux céréales d'hiver ou entre un colza et une céréale d'hiver. Dans ce cas l'inter-culture est souvent trop courte pour planter un couvert après la récolte du précédent. Il est toutefois possible de semer un couvert de trèfle blanc en relais dans le précédent (au printemps dans une céréale d'hiver ou au semis dans un colza d'hiver). Le trèfle blanc reste en sous étage pendant toute la durée de la culture précédant. A l'approche de la récolte, suivant les conditions climatiques, il couvre très rapidement le sol avec un bon effet d'étouffement sur les repousses et les adventices annuelles (figure 9). Un broyage en septembre peut renforcer cet effet nettoyant (Labreuche et al, 2015 ; Amosse et al, 2013a,b).

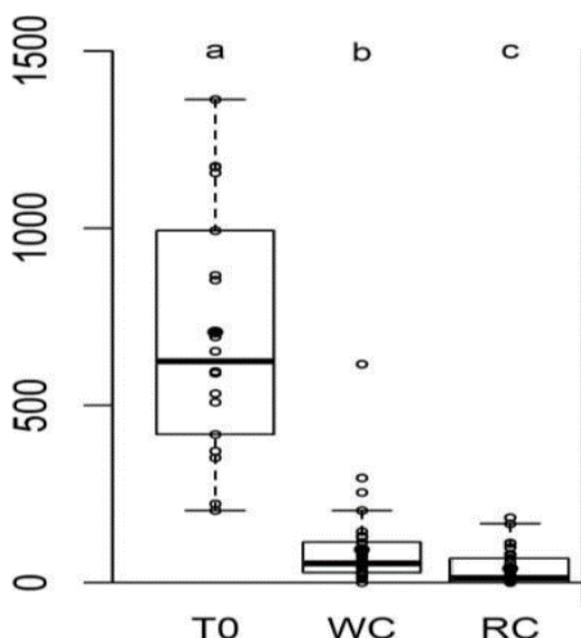


Figure 9. Biomasse des adventices (kgMS/ha) en fonction de la légumineuse en relais dans du blé (T0 = Témoin sans couvert, WC = Trèfle Blanc, RC= Trèfle violet (Celette et al 2017)

- En hiver, entre une récolte tardive (maïs grain, pomme de terre, betteraves, légumes de conservation) et une deuxième culture de printemps semé tôt (céréales de printemps, protéagineux, betteraves, oignon). La période hivernale est peu propice au développement d'un couvert semé en automne d'autant que cette période est généralement réservée au labour d'hiver. Sans labour, certaines espèces de couverture (trèfle incarnat, navette d'hiver, escourgeon ou seigle) peuvent constituer une couverture minimale durant l'hiver et suivant les conditions climatiques de fin

d'hiver constituer une biomasse importante dès le début du printemps. Dans le cas d'un semis plus tardif de la culture suivante il faudra surveiller le bilan hydrique de la parcelle pour déclencher la destruction du couvert.

- Au printemps, avant une culture semée tardivement (haricot, basilic, soja, sarrasin, potiron). Planter un couvert pendant cette période comporte un gros risque de déficit hydrique pour la culture suivante. Elle peut par contre être mise à profit pour réaliser des faux semis ou lutter contre les vivaces comme le chardon et le laïeron particulièrement sensibles au printemps. (Weill, 2018)

Le mélange à planter va être fonction de nombreux facteurs : (1) de la période de l'année et de la durée de l'interculture, qui peut être courte, avant l'implantation d'une culture d'hiver, ou longue, avant l'implantation d'une culture de printemps, (2) des schémas de valorisation potentiellement envisagés pour les biomasses produites (fauche et exportation pour alimenter un digesteur pour la production de biogaz avec retour de digestat, ressource fourragère avec retour de fumier/lisier dans un système de polyculture-élevage ou retour direct au sol), (3) du mode de destruction envisagé (destruction mécanique ou par le gel), Afin d'aider les agriculteurs dans cette tâche, différents supports et outils ont été développés (Guesquière et al., 2012 ; Askegaard, 2017b). Un tel outil d'aide à la composition des couverts a été développé sur base de références régionales par PROTECT'EAU ³

Soulignons que le maintien de tels couverts, s'ils sont associés à une absence de travail du sol voir à un travail réduit de ce dernier, peut stimuler l'activité d'insectes auxiliaires, notamment de carabes, dont certaines espèces sont consommatrices de graines d'adventices. La densité de ces auxiliaires et dès lors leur activité potentielle vont également largement dépendre de la structure écologique du paysage environnant.

3.2. Les cultures associées à une culture de service

Ces associations concernent une culture à laquelle sont associées des plantes compagnes qui ne sont pas récoltées. Ainsi, lorsque l'on désire cultiver des espèces qui présentent un faible pouvoir couvrant à un stade jeune, il peut être intéressant de semer, de manière simultanée, un couvert de service qui sera détruit et/ou dont le développement sera limité lorsque la culture de rente prendra plus d'ampleur. Un tel schéma a été développé pour gérer les adventices dans la culture de colza d'hiver.

Dans le cadre du colza associé, il y a lieu de mettre à profit la date précoce de son implantation (mi-août) pour l'accompagner de légumineuses (gélives) au cours de la période pré-hivernale d'installation de la culture. En effet, afin d'optimiser l'enracinement et la résistance à l'hiver de la culture, de ralentir l'élongation automnale de l'hypocotyle et de favoriser la formation de graines, le colza doit être semé à faible densité. La couverture du sol par la culture est, par conséquent, ralentie ce qui laisse de la place pour le développement des adventices. La technique proposée consiste à semer en mélange avec le colza des légumineuses compagnes qui vont occuper rapidement les espaces laissés par le colza. Ces légumineuses (lentilles,

³ <https://protecteau.be/fr/nitrate/agriculteurs/couvert/choix-couverts-vegetaux>).

pois, féverole, trèfle d'Alexandrie) sont choisies pour leur développement rapide et leur caractère gélif. Elles sont utilisées en mélange pour optimiser leur action d'étouffement vis-à-vis des jeunes adventices. En mourant au cours de l'hiver, ces légumineuses libèrent l'azote accumulé dans leurs tissus, laissent un mulch protecteur à la surface du sol et libèrent l'espace pour le développement printanier du colza. (Gyselynck, 2020).

Ainsi, d'après Cadoux et al. (2015), l'association du colza avec des légumineuses gélives ne modifie pas ou peu le nombre d'adventices levées mais contribue à limiter leur développement, du fait d'un supplément de production de biomasse et d'une complémentarité de port avec le colza. L'effet est particulièrement intéressant quand la biomasse aérienne du colza et du couvert associé dépasse 1,5 kg/m² en entrée d'hiver. Cet impact est également mis en évidence par Lorin et al. (2015). Associer son colza à des couverts permet d'atteindre plus facilement ce seuil, surtout dans les milieux à faible potentiel où il est difficile de dépasser des biomasses de 1 kg/m² de colza.

Verret et al. (2017) indiquent, via une méta-analyse de 34 articles cherchant à quantifier l'impact de légumineuses de service sur le contrôle des adventices et sur le rendement des cultures de rentes, que cette technique n'a, si elle est bien conduite, pas d'impact négatif sur le rendement de la culture de rente tout en réduisant de près de 60 % la pression exercée par les adventices.

Le maïs grain associé est un autre exemple de plante compagnes limitant l'enherbement de la culture sur l'ensemble du cycle de la culture. Cela consiste à introduire au semis du maïs une graine de soja tardif (groupe 0) pour 5 graines de maïs. Le maïs prend rapidement le dessus sur le soja qui est contraint de couvrir l'inter-rang. Le soja végète ainsi jusqu'à la récolte du maïs en maintenant l'inter-rang à l'ombre (Figure 10).



Figure 10. Enherbement de fin de saison du maïs grain avec (à droite) et sans (à gauche) soja associé. Source CRA-W, réseau de fermes en grandes cultures

3.3. Les associations de cultures

La culture de protéagineux à graines est délicate en agriculture biologique. En effet, ces espèces ont un faible pouvoir de compétition vis-à-vis des adventices (figure 16). Or, ce sont des espèces clés vu leur capacité à fixer, en symbiose avec des bactéries du genre rhizobium, l'azote qui compose plus de 70% de notre atmosphère. De plus, elles fournissent des graines riches en protéines cruciales tant en alimentation humaine qu'animale.

Les agriculteurs bio ont dès lors développé, de longue date, principalement pour une valorisation en alimentation animale, des conduites de ces protéagineux en cultures associées avec des céréales. Ces dernières assurent une bonne couverture du sol lors de la levée du couvert, servent de tuteurs pour le protéagineux et contribuent à stabiliser les rendements ; rendements fort variables si les protéagineux sont conduits en culture pure. Qui plus est, les céréales conduites en association avec des protéagineux sont plus riches en protéines. Il faut souligner que ce mode de conduite des cultures de protéagineux est également de plus en plus adopté dans les systèmes conventionnels.

Ainsi, Carton (2020) montre qu'une association de lupin blanc avec du triticales permet de réduire la biomasse de la flore adventice de 63% à la floraison du lupin. Soulignons néanmoins que le lupin, semé à pleine dose, souffre de la compétition du triticales, semé à 30% de la pleine dose et que globalement, dans le cadre de cette étude menée sur la zone d'Angers, la quantité de protéine produite par hectare est équivalente, que le lupin soit conduit en culture pure ou en association. Différentes associations de céréales (40% de la pleine dose) avec du pois (80% de la pleine dose) sont régulièrement rencontrées sur le terrain (Klaiss, 2017). Afin d'être valorisés en alimentation humaine, ces mélanges nécessitent la mise en place de systèmes de tri au niveau des points de collecte.

De la même manière, en agriculture biologique, Corre-Hellou et al. (2012) montrent, sous une diversité de contextes pédo-climatiques, que la biomasse d'adventice est trois fois moins importante sous une association d'orge de printemps-pois que sous une culture de pois pure.

De manière à connaître les dernières évolutions dans le domaine des associations de cultures, nous ne pouvons qu'inviter le lecteur à consulter les sites des projets Européens REMIX (<https://www.remix-intercrops.eu/>) et DIVERSIFY (<https://www.plant-teams.eu/>) qui explorent spécifiquement l'intérêt de ce type d'association.

3.4. Le choix variétal

Au-delà du choix des espèces à inclure dans la rotation, le choix des variétés est également important. En effet, la phénologie des plantes et leur capacité à entrer en compétition avec les adventices peut varier entre les variétés au sein d'une même espèce (Fontaine et al., 2011). Les traits de vie qui vont influencer les schémas de compétition de la plante sont :

(1) Vis-à-vis de la lumière :

- a. son port (prostré, érigé, avec ou sans tallage, ...)
- b. la largeur de ses feuilles (plantes présentant des feuilles herbacées ou larges,...)
- c. la période durant laquelle elle va réaliser la majorité de sa croissance.

(2) Vis-à-vis des nutriments :

- a. la morphologie de son système racinaire ;
- b. la période durant laquelle elle va réaliser la majorité de sa croissance ;
- c. la longueur de son cycle : espèces annuelle, bisannuelle,

Pour ce qui est de la compétition vis-à-vis de la lumière, Fontaine et al. (2011) mettent en avant l'importance de la hauteur à maturité pour expliquer le pouvoir concurrentiel des variétés. La couverture du sol et le port des feuilles sont les variables qui viennent ensuite et prennent d'autant plus d'importance que les intervalles entre les rangs augmentent. L'impact de la variété, pris individuellement, reste néanmoins limité avec les variétés disponibles à l'époque de l'étude. Elle constitue un critère intéressant mais doit impérativement être combinée à d'autres solutions agronomiques visant le contrôle des adventices (successions de culture dans la rotation, travail du sol, cultures associées, ...) (Fontaine et al., 2011). Ces critères phénologiques doivent néanmoins être pris en compte dans les schémas de sélection si l'on souhaite en tirer profit. Ainsi, en comparaison au froment, le port du triticales a permis une réduction de près de moitié de la densité des adventices.

3.5. La densité de semis, la qualité de la levée et les écartements interlignes

Les travaux de Fontaine et al. (2011) illustrent également l'importance d'assurer une levée homogène des céréales d'hiver afin d'assurer une couverture rapide du sol et une bonne compétitivité de la culture vis-à-vis des adventices. En phase avec cette observation, le pouvoir de compétition peut être influencé tant par la densité de semis que par l'écartement entre les rangs (Cantin, 2015 ; De Vita et al. 2017). Dans sa synthèse, Cantin (2015) illustre l'intérêt de faire passer l'écartement entre les rangs de 24 à 12 cm pour la lutte contre les adventices. Néanmoins cet effet est indépendant de celui de la densité de semis. Densité qui peut être plus intéressante à mobiliser, à moduler dans le cas d'application de TCS afin de limiter une perturbation trop importante du sol. Cet auteur indique néanmoins que cette augmentation de la densité de population risque d'accroître l'occurrence de certaines maladies. Finalement, il insiste sur le fait que la gestion de cette densité ne permet pas, directement, de gérer les adventices vivaces. Néanmoins, ce double paramétrage de la densité de semis et de l'écartement entre les rangs doit être raisonné au regard des techniques de désherbage utilisées. Le binage, qui impose un écartement de minimum 25 cm entre rangs, permet de lutter contre les adventices vivaces dans l'inter-rang. Un tel écartement permet par ailleurs, en raison d'une plus grande densité sur le rang à densité globale constante, une plus forte

compétition de la culture vis-à-vis des adventices sur le rang et une meilleure aération de la culture limitant de surcroît les risques de développement de certaines maladies du feuillage.

4. Les pratiques associées à la stratégie d'évitement

La stratégie d'évitement consiste à limiter la levée de dormance des stocks de graines en place. En jouant sur le décalage des dates de semis, en minimisant le travail du sol notamment au semis, en maintenant un couvert permanent.

- le décalage des dates de semis (plus précoces ou plus tardives),
- la diversité des modes de travail du sol
- le labour, l'enfouissement profond des semences d'adventice
- le semis-direct, le semis sans travail du sol
- le striptill, la localisation du travail du sol
- le couvert vivant permanent

4.1. Le décalage de la date de semis

En complément à la diversification des espèces cultivées, une stratégie consiste à **en modifier la conduite**, notamment, pour ce qui est des céréales d'hiver, **en avançant ou retardant leurs périodes de semis**.

Dans ce cadre, des essais, menés par Arvalis (2017) dans le centre de la France, illustrent l'effet d'un retard de la date de semis du froment d'une vingtaine de jours sur la réduction de la densité d'adventices très nuisibles qui lèvent à l'automne telles que le ray-grass, le brome ou encore le vulpin (figure 11). La mise en œuvre de cette technique permet également de réaliser un déchaumage/faux-semis supplémentaire et de limiter les risques représentés par les vols automnaux des pucerons vecteurs de viroses telles que la Jaunisse Nanisante. Elle n'a pas d'impact sur le rendement si le semis est réalisé en octobre mais nécessite de bien choisir ses variétés et de pouvoir profiter d'un nombre de fenêtres d'intervention plus restreint (Agro-Transfert, 2011b).

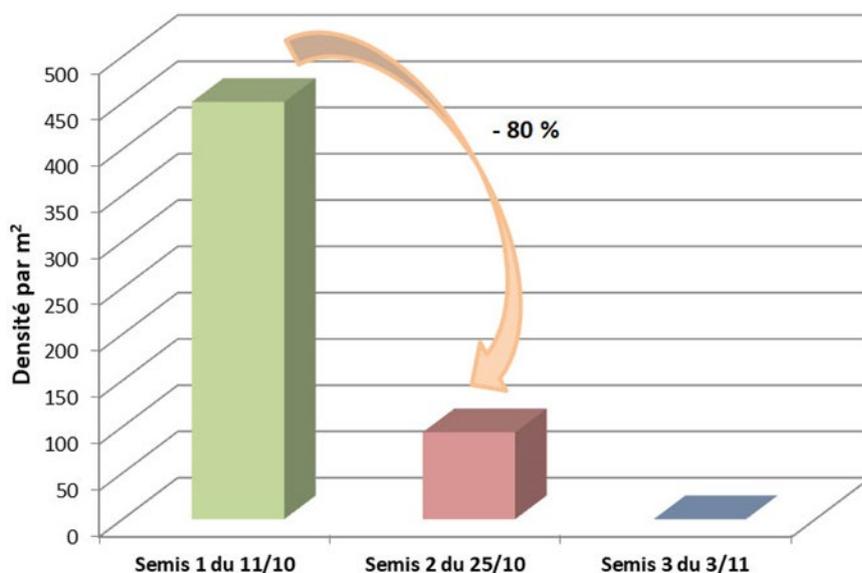


Figure 11. Impact de la date de semis du froment sur la densité de vulpin observée (Arvalis 2017)

Inversement, certains agriculteurs testent le semis ultra précoce de céréales d'hiver qui consiste à avancer le semis d'une céréale d'hiver de plusieurs mois (juillet-août). Cette technique est utilisée dans les systèmes bas intrant avec la perspective d'une couverture permanente du sol et d'une réduction drastique du travail du sol. Elle permettrait d'éviter les levées d'adventices d'automne et d'obtenir une culture très couvrante et bien enracinée à l'entrée de l'hiver avec pour conséquence une meilleure résilience face au manque d'azote au printemps ainsi qu'au déficit hydrique et au risque d'échaudage estival. Elle nécessite cependant (1) l'utilisation de variétés d'hiver très tardives en montaison, afin d'éviter que cette dernière ne survienne avant l'hiver, et (2) la réalisation d'un effeuillage complet en septembre/octobre pour limiter les problèmes sanitaires de fin de saison et la sensibilité au froid. Les résultats d'essais sont néanmoins très variables. Des essais complémentaires doivent dès lors être menés afin de bien cerner les conditions de réussite et les itinéraires techniques adaptés.

4.2. La couverture du sol en permanence, les cultures en relais (relay cropping)

Toutes périodes de sol nu est favorable à la levée des adventices et à leur développement. D'autre part le sol est alors exposé à la dégradation par les pluies (érosion, battance, reprise en masse), la chaleur et le rayonnement solaire (minéralisation et oxydation de la matière organique) alors qu'il ne bénéficie pas de l'effet structurant de l'enracinement et de la fixation de carbone par les plantes au travers de la photosynthèse. Pour ces raisons, des agriculteurs cherchent à minimiser les périodes de sol nu via la pratique des cultures en relais (relay cropping). Cette pratique consiste à avancer, dans le précédent, l'implantation de la culture suivante. Elle peut s'appliquer aussi bien à l'implantation d'un couvert végétal d'inter-culture

qu'à l'implantation d'une culture. Le choix des espèces doit prendre en compte leur compatibilité :

- la capacité de la culture en relais à s'implanter à l'ombre de la culture précédente sans la concurrencer ni en gêner la récolte ;
- Le cycle de développement de la culture en relais doit être décalé (phase végétative plus longue) par rapport à celui de la plante abri ;
- La culture abris doit quant à elle être pilotée (variété, densité, fertilisation) pour ne pas étouffer le jeune semis implanté en relais.

Implantation d'un couvert en relais sous ou avec sa plante abris

- Lorsque la période d'inter-culture est courte, un couvert de trèfle blanc peut être implanté dès le printemps dans la céréale (plante abris) qui précède. D'autres légumineuses pérennes (lotier, luzerne lupuline, trèfle violet, mélilot) ou graminées (ray-grass anglais, fétuque rouge) ou encore brassicassées (roquette, cameline, navette) peuvent accompagner le trèfle blanc. D'autres cultures abris sont possibles (protéagineux et associations céréales protéagineux). Le semis peut se faire à l'occasion d'une opération de désherbage mécanique de la culture principale (hersage, binage). En conditions favorables après la moisson, le trèfle blanc se développe rapidement et limite les repousses de céréales.
- Les espèces pérennes mentionnées ci-dessus ainsi que la navette d'hiver et le seigle d'hiver peuvent être semées dans un maïs aux stades 4 à 6 feuilles et constituer un couvert non négligeable sous le maïs à la récolte en novembre. Ce couvert hivernant stabilise la portance du sol et limite le tassement lié au chantier de récolte.
- Lors d'une culture de colza associé ou non, du trèfle blanc, peut être ajouté au moment du semis du colza (plante abri). Dans un tel cas de figure, à condition d'éviter une sur-fertilisation du colza, le trèfle blanc colonise très rapidement le sol après la moisson du colza ce qui limite le développement des repousses ce dernier et celui des adventices germant l'été.
- Cette stratégie de couvert en relais peut s'appliquer à la conduite d'inter-cultures longues. Il s'agit de semer en mélange deux groupes d'espèces : un groupe de plantes (abris) à cycle très court, précoces et gélives (tournesol, féverole, phacélie, sorgho, pois, lin, moutarde d'abyssinie, avoine brésilienne) et un groupe d'espèces (relais) tardives hivernantes non gélives (navettes d'hiver, seigle, trèfle incarnat) qui prends le relais en fin d'automne. Si les conditions sont portantes un broyage ou un pâturage de la plante abri à un stade relativement jeune peut favoriser le développement du couvert en relais, développement qui peut se poursuivre au printemps en attendant le semis de la culture suivante (par ex. un maïs). Si le précédent est récolté tôt (par ex escourgeon ou pois de conserverie) le double couvert consiste à ressemer, en direct dans le premier couvert gélif, un nouveau couvert hivernant en relais.

Implantation d'une culture en relais

- L'exemple emblématique de ce cas de figure est le semis au printemps de soja dans une orge ou un blé d'hiver en place. A la moisson, le soja est resté suffisamment petit pour ne pas gêner la récolte. Les conditions chaudes de l'été sont alors favorables au soja qui peut accomplir son cycle jusqu'à la graine. Cette double récolte n'est réalisable qu'en climat continental avec des variétés de soja très précoces ;
- Le semis d'un blé (variété très hiver, tardive en montaison) dans un protéagineux de printemps fait partie des itinéraires testés chez des agriculteurs engagés dans l'agriculture biologique de conservation du sol.

4. 3. Le travail du sol

Varier les modalités et les périodes de travail du sol

Tout comme l'alternance de semis d'automne et de printemps permet de limiter la montée en puissance d'une flore spécifique à une période de semis donnée, la mobilisation d'une diversité de méthodes de travail du sol limite la sélection d'une communauté d'adventice spécifique à un mode de travail du sol spécifique (Armengot et al., 2016). En effet, ces auteurs soulignent qu'un travail du sol plus limité, sans retournement, sélectionne spécifiquement les espèces pérennes, les espèces moins compétitives car plus petites et les espèces présentant une moindre affinité pour les éléments nutritifs. Le labour traditionnel va par contre promouvoir le développement d'espèces qui produisent moins de semences mais plus compétitives vis-à-vis de l'utilisation des ressources. Néanmoins, Armengot et al. (2016) précisent que le mode de travail du sol n'est pas le premier déterminant des traits fonctionnels des communautés d'adventices présentes. Le type de culture joue, comme souligné précédemment, un rôle prépondérant à ce niveau.

Le labour intermittent

Ainsi, bien que le labour ; en détruisant les adventices déjà germées, en diminuant le nombre de graines capables de germer en surface, en perturbant le développement des rhizomes des vivaces ; représente un élément clé pour assurer une gestion préventive des adventices, il présente également plusieurs limites pour une gestion durable des sols et des systèmes agraires (Agro-Transfert, 2011d). En effet, il dilue la matière organique présente et augmente ainsi les risques de lessivage, il perturbe le cycle de nombreux organismes bénéfiques aux cultures (lombrics, carabes, ..), il nécessite une plus grande consommation d'énergie et de temps, ... Il s'avère dès lors que la mobilisation du labour d'une manière non systématique, ciblée par rapport à la rotation et à la persistance du stock semencier de la communauté

d'adventices en place, est à promouvoir (Agro-Transfert, 2011d) (figure 12). Ainsi, des espèces de graminées, tel le vulpin, avec une faible persistance du stock semencier, n'auront plus que 10% de semences viables si deux années s'écoulent entre deux labours. Cette proportion sera encore de 40% pour le chénopode qui nécessite dès lors un laps de temps plus important entre deux labours. Un labour annuel remonte, quant à lui, une forte proportion de semences d'adventices viables à la surface avec un risque d'amplification du problème ! Ces auteurs conseillent dès lors :

- A minima, un labour sur l'ensemble de la rotation, de préférence entre deux cultures affectées par la même flore afin d'enfouir les semences des espèces dont la période de levée préférentielle est calée sur ces cultures ;
- Idéalement, le labour sera réalisé avant une culture de printemps pour en favoriser l'implantation tout en générant une meilleure structure du sol.

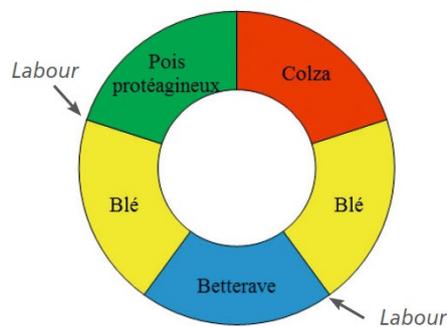


Figure 12. Positionnement des labours pour une succession du type colza/blé/betterave/blé/pois protéagineux (Agro-Transfert, 2011d)

Traditionnellement tout semis est précédé d'une phase de travail du sol dite de préparation du lit de semences et ces deux opérations « préparation » et « semis » se succèdent sans délais voir sont concomitantes lors de l'utilisation d'outils combinés « rotative-semoir » juste derrière la charrue. Cette combinaison de pratiques à l'avantage d'avoir un sol débarrassé d'adventices au moment du semis et de pouvoir étendre les fenêtres de semis à des conditions de sol plus défavorables notamment pour les semis tardifs d'automne/hiver ou précoces de fin d'hiver/début du printemps. Cependant ce système de pratique à l'inconvénient de synchroniser la levée de dormance des adventices ; sous l'effet du travail intense du sol ; avec celle de la culture semée. Qui plus est, les adventices qui lèvent à ce moment-là sont précisément celles dont le cycle de développement est synchronisé avec celui de la culture et qui représentent, dès lors, potentiellement, le plus grand impact négatif. A cela vient s'ajouter que ce travail intense du sol au moment du semis provoque par aération et émiettement une activation de la minéralisation de la matière organique du sol et le relargage d'une importante quantité d'azote minéral et autres nutriments que la jeune culture ne pourra pas absorber. Cet azote en excès, outre qu'il va accentuer la levée de dormance des adventices nitrophiles va aussi bénéficier au développement rapide de l'ensemble du cortège des adventices présentes. Dans le cas de semis d'automne, le risque est grand que les conditions ne soient pas favorables aux interventions mécaniques, nécessaire au contrôle de ces adventices, avant le début du printemps. Dans le cas d'un semis de printemps le calendrier de ces interventions sera également très serré dans la mesure où chaque passage mécanique occasionnera une

nouvelle levée de dormance des semences d'adventices et une nouvelle activation de la minéralisation.

4.4 Le semis direct, réduire au maximum le travail du sol

Pour ces raisons, les agriculteurs engagés dans l'agriculture de conservation des sols expérimentent des stratégies d'évitement via des itinéraires techniques basés sur réduction drastique du travail du sol, notamment au semis. Ainsi, Cadoux et al. (2015) montrent qu'un semis direct de colza, pratiqué avec un semoir à disques et à vitesse réduite (<7km/h) pour limiter le flux de terre, permet de limiter les levées d'adventices, notamment à hauteur de 90% pour le géranium, une adventice très nuisible pour le colza et difficile à gérer même avec les moyens chimiques.

L'effet de réduction drastique du travail du sol sur le développement de la flore adventice est basé sur le constat que c'est à la surface du sol non travaillé qu'une graine d'adventice a le moins de chance de survie y étant exposée aux aléas climatiques, à la germination en milieu défavorable et à l'activité des oiseaux, insectes, limaces, champignons et autres prédateurs. L'absence de travail du sol est par contre plus favorable au développement des adventices vivaces pour lesquelles la graine n'est pas l'unique moyen de leur maintien ou de leur propagation.

La technique de semis direct ne se limite pas au semoir et au semis. Elle suppose une modification de l'ensemble des itinéraires techniques, des successions de cultures et une anticipation des opérations culturales qui peut aller jusqu'à remonter plusieurs saisons en amont (par exemple buttes d'été en pomme de terre). Les fenêtres climatiques sont généralement réduites par rapport aux itinéraires standards. Pour être réalisés dans des conditions de sol optimales, les semis d'automne seront plus précoces tandis que ceux de printemps souvent plus tardifs. L'application d'engrais localisés au semis est indispensable. Les réussites du couvert qui précède et de sa destruction sont primordiales. Le semis du couvert doit notamment avoir lieu le plus tôt possible après la moisson (barre de semis sous la coupe de la moissonneuse) voir avant (semis en relais, semis à la volée). Dans certains cas, ces couverts devront être fertilisés (anticipation de la fertilisation). Certaines cultures à récolte tardive (pomme de terre, betteraves, carotte), qui impactent fortement le sol, sont peu compatibles avec ces itinéraires et ce d'autant plus que les chantiers de récolte sont de plus en plus lourds. Le semis direct suppose également un sol en excellent état agronomique, ce qui demande d'anticiper la ré-agradation du sol (augmentation de la teneur en matière organique, limitation de la compaction, activation de la biologie du sol, notamment des vers de terres et des champignons) pendant les années qui précèdent le passage au semis direct. Dans cet esprit, actant que les sols sont actuellement largement dégradés, l'appellation « agriculture régénérative » voit le jour pour mieux traduire l'évolution du mouvement de l'agriculture de conservation des sols de ces dernières années.

4.5. Le striptill, localiser le travail du sol

Le striptill se positionne comme une technique intermédiaire entre le labour systématique et le semis direct. Il permettrait d'opérer, à moindre risque, la transition vers une réduction drastique du travail du sol. Cette technique consiste à ne travailler le sol qu'à l'endroit de la future ligne de semis. Elle est principalement appliquée aux cultures semées en lignes distantes de 45 cm au minimum, que ce soit au printemps (betteraves, maïs, potirons, haricots, panais), en été (colza) ou en automne (féverole d'hiver). Son intérêt pour l'agriculture bio est d'être compatible avec le binage de l'inter-rang lequel, n'étant pas travaillé, reste portant vis-à-vis du passage des engins de désherbage mécanique. Son inconvénient est de travailler le sol relativement profondément avec un risque de lissages en condition humide. D'autre part, le striptill provoque une levée d'adventice à l'endroit même de la ligne de semis, précisément là où elles sont les plus difficiles à atteindre mécaniquement et dommageables pour la culture. Pour pallier à ces effets indésirables, en s'appuyant sur les technologies d'autoguidage, l'opération de striptill peut-être anticipée en été ou en automne (en conditions sèches) après la récolte du précédent, avant ou simultanément au semis du couvert d'inter-culture. Le « striptiller » peut être équipé d'un semoir et réaliser, en même temps que le travail du sol, le semis d'un couvert spécifique (par exemple gélif, comme la féverole) et l'incorporation d'un engrais organique localisé à l'endroit même de la future ligne de semis de la culture de printemps qui suivra (par exemple un maïs). De cette façon, on évite le lissage et la féverole, par son enracinement puissant, complète et stabilise l'ameublissement du sol. Semée à forte densité ou accompagnée d'une autre espèce (par exemple une graminée comme l'avoine ou l'alpiste), elle étouffera efficacement toute levée automnale d'adventices. Facilement détruite par roulage en fin d'hiver, la féverole cesse alors de prélever l'eau et les nutriments du sol et le couvre d'un mulch mort de couleur noire qui favorise le réchauffement du sol. L'inter rang peut soit être couvert par des espèces plus ou moins gélives, soit laissé nu en fonction de l'écartement entre rang. Au printemps, le semis du maïs se fait en semis direct dans un sol meuble et sans provoquer de nouvelles levées d'adventices printanières (chénopode, morelles) nuisibles pour cette culture. En outre la décomposition lente des résidus du couvert libère progressivement des nutriments faisant office d'engrais localisé, riches en azote, phosphore, calcium et soufre dont le maïs a grandement besoin pour assurer sa croissance juvénile. L'inter-rang, quant à lui, est biné dès que nécessaire de façon à détruire définitivement les repousses éventuelles du couvert, casser la capillarité (importante sur sol non travaillé) et limiter ainsi les pertes d'eau par évapotranspiration.

Ces exemples, qui sont actuellement à l'étude avec des agriculteurs dans le cadre d'une expérimentation système en réseau de parcelles, illustrent comment la dissociation, dans le temps par anticipation et dans l'espace, des différentes opérations culturales (couvert en relais, travail du sol, fertilisation) fait partie intégrante de la gestion préventive des adventices et, plus généralement, de la démarche de transition agro-écologique. Ces approches impliquent néanmoins des apprentissages et des changements importants dans l'organisation des travaux des champs, dans l'outillage utilisé, dans la nature et l'usage des intrants, voir même, dans la nature des productions.

4.6. Le couvert permanent

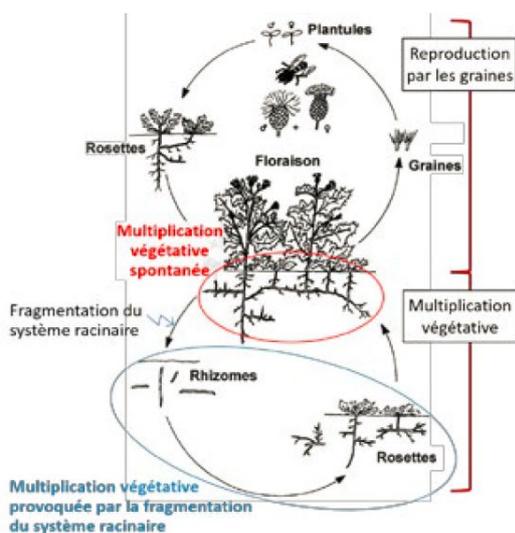
Cette pratique consiste à maintenir un couvert de légumineuse pérenne d'année en année, le plus longtemps possible, tout en le régulant pendant les phases de culture de façon à ce qu'il concurrence peu la culture, principalement pendant toute la phase critique d'implantation. Passé ce stade, de par l'avance qui lui a été donnée, c'est la culture qui est sensée réguler le couvert. Cette pratique a été conceptualisée et testée dans les réseaux de l'agriculture de conservation du sol et plus particulièrement chez les agriculteurs pratiquant le semi-direct. L'avantage de cette pratique est, d'une part, d'avoir un sol couvert en permanence tout en évitant de devoir ressemer un couvert plusieurs fois sur l'année avec les coûts que cela implique et les risques liés aux aléas de l'implantation. D'autre part le couvert permanent assure une portance maximale des sols au moment de la récolte et permettrait d'éviter tout travail du sol. Un « sol toujours couvert, jamais travaillé », selon l'expression consacrée de l'agriculture de conservation, associe pleinement les stratégies d'évitement et d'étouffement à la base de la prévention vis-à-vis du développement des adventices. Composé de légumineuses, il optimise la fixation d'azote par la rotation. La pratique du couvert permanent a d'abord été étudiée par Arvalis dans le contexte de l'agriculture conventionnelle. Dans ce cas les couverts sont régulés par des pesticides sélectifs. Arvalis conclut à la faisabilité de la technique pour les cultures d'automne à condition d'une excellente régulation du couvert. En effet, ce dernier doit rester vivant pendant la culture avec une biomasse inférieure à une tonne de matière sèche aérienne/ha. Pour les cultures de printemps (orge et maïs) c'est beaucoup plus délicat, il faut quasiment détruire le couvert pour maintenir le potentiel de rendement. Dans ce cadre, le principal défi est de gérer l'économie en eau à l'échelle de la culture et de la rotation. (Labreuche et al., 2020)

En 2016 Arvalis reprend l'idée dans le cadre de l'agriculture biologique sans labour. Ils remplacent la modulation par les herbicides par de la mécanisation de précision et le couvert de trèfle blanc semé en plein par de la luzerne semée en ligne. Toutes les cultures y compris les céréales sont semées en lignes à des écartements compatibles avec celui de la luzerne (30cm). Contrairement au trèfle blanc, dont le développement latéral via les rhizomes est très rapide, la luzerne « tient sa ligne » ce qui limite la compétition latérale vis à vis la culture. Par contre, c'est en prenant de la hauteur qu'elle devient rapidement étouffante pour la culture. Grâce à une mécanisation de précision basées sur des mini tondeuses électriques montées sur une poutre à la manière des éléments d'une bineuse, les chercheurs d'Arvalis arrivent à réaliser plusieurs coupes de la luzerne sans occasionner de dommages à la culture en développement. Les premières années de mise au point sont très encourageantes et donnent lieu actuellement à une réflexion sur des améliorations de l'itinéraire technique, sur la transposition à d'autres légumineuses pérennes et à d'autres cultures que le blé d'hiver voir à l'ensemble du système de culture. (Helias et Lhermitte, 2019)

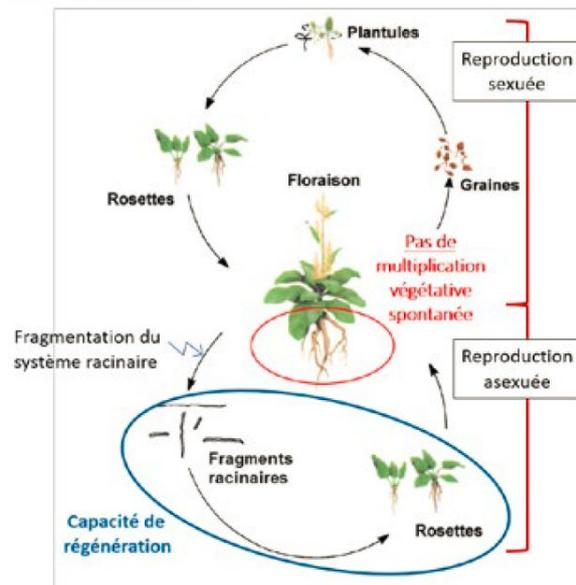
5. Le cas particulier de la gestion des adventices pérennes

Les adventices vivaces (figure 13), capables de multiplication végétatives (chardons, laitersons, rumex) présentent une forte capacité de concurrence. Cette multiplication végétative se produit spontanément mais peut également découler de pratiques culturales qui vont stimuler la fragmentation du système racinaire (Favrelière).

Exemple du chardon :



Exemple du rumex :



Afin de lutter contre ces adventices il y a lieu d'intervenir lorsque les réserves racinaires sont les plus faibles afin d'éviter que les fragments qui pourraient être formés suite aux interventions de désherbage ne donnent naissance à de nouveaux clones vigoureux. Il y a dès lors lieu de bien connaître les cycles de constitution/mobilisation des réserves par la plante (figure 14) afin de fixer les fenêtres d'intervention. L'idéal étant d'intervenir lorsque pour son développement la plante ne va plus puiser sur ses réserves racinaires mais va commencer à profiter de l'énergie produite par la photosynthèse. Ce stade est atteint rapidement : stade 6-8 feuilles du chardon et 4-7 feuille pour le laiterson (figure 15) (Favrelière).

Exemple du chardon :

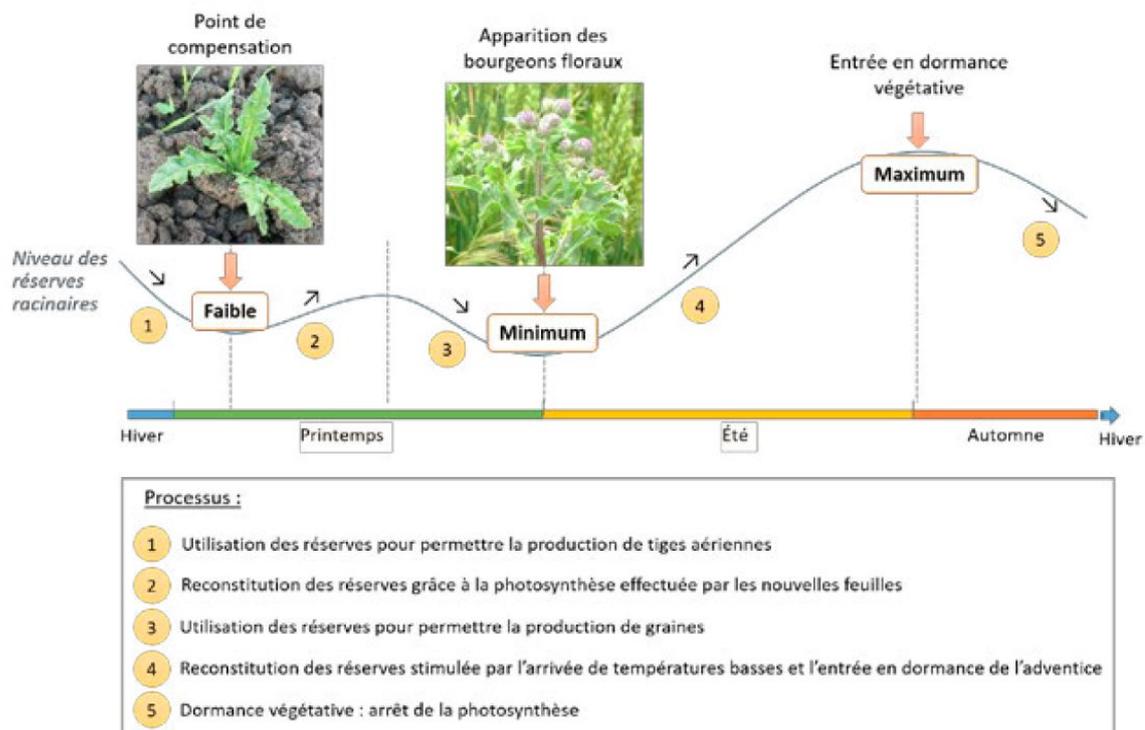


Figure 14. Cycle annuel de constitution/utilisation des réserves racinaires par le chardon (Favrelière)

	
Chardon	Laiteron
6-8 feuilles	4-7 feuilles
	

Figure 15. Stade de développement du chardon et du laiteron lorsque la photosynthèse prend le relais des racines pour fournir l'énergie nécessaire au développement de la plante, ce qui équivaut au point de compensation souligné en figure 14 (Favrelière)

Afin de lutter contre les vivaces et éviter qu'elles ne deviennent incontrôlables, il y a lieu de combiner plusieurs leviers d'action et ce sur le long terme. Ces leviers résident dans (1)

l'implantation de cultures et couverts concurrentiels pour empêcher les adventices de faire de la photosynthèse et de fortes réserves et (2) la mobilisation de moyens mécaniques pour intervenir au stade sensible et mettre en œuvre une stratégie d'épuisement (*Favrelière*).

5.1. Mobiliser des couverts et cultures avec un pouvoir de compétition élevé pour lutter contre les adventices pérennes

Concernant les cultures et couverts d'interculture concurrentiels, Askegaard (2017a) promulgue les conseils suivants :

- Implémenter des engrais verts, des cultures de service, tels que du trèfle ou de la luzerne, dans au moins 20% de la rotation ;
- Ne pas cultiver de céréales présentant un faible pouvoir compétitif (figure 16) deux années de suite, donc jamais plus d'une année sur deux ;
- Si la pression des espèces pérennes est importante au sein d'une parcelle, n'y planter que des cultures présentant un pouvoir compétitif élevé (figure 16) ;
- Ne pas cultiver de protéagineux à graines là où les adventices pérennes sont un problème. En effet, une récolte tardive en combinaison avec une densité de couvert limitée et une forte disponibilité en nutriment vont promouvoir le développement de ces adventices ;
- Après une culture de protéagineux à graines, ne pas positionner une culture d'hiver. En effet, cette dernière va limiter la perturbation des adventices pérennes durant une longue période. Planter plutôt une interculture qui va valoriser les éléments nutritifs disponibles et semer ensuite une culture de printemps compétitive ;
- Ne pas semer pas une orge de printemps après une interculture riche en légumineuses car l'orge ne valorise pas bien les éléments nutritifs disponibles. Planter plutôt une avoine avec une culture de couverture en sous-semis ;
- Lorsqu'une culture ou une interculture est mal implantée il faut réagir. Il vaut mieux la détruire afin de se focaliser sur une gestion efficace des adventices et repartir d'une situation saine afin d'assurer la réussite de la culture à venir.

POUVOIR de COMPETITION				BESOINS en AZOTE
	Nuls	Moyens	Élevés	
Très élevé	Prairie temporaire multispèces base légumineuses	Seigle, Chanvre		
Élevé	Luzerne, Trèfle blanc et violet	Epeautre, Avoine, Triticale	Colza d'hiver	
Moyen	Féverole, Lupin blanc, Soja	Orge de printemps	Blé d'hiver, Escourgeons, Pomme de terre	
Faible	Pois protéagineux, Lentilles, Haricots		Blé de printemps, Maïs	
Très faible	Lupin non ramifié		Lin, Betteraves, Légumes	

Figure 16. Positionnement des cultures en fonction de leur compétitivité vis-à-vis des adventices et de leur besoin en azote (modifié de Askegaard, 2017a)

Néanmoins, comme le souligne Favrelière, le choix de la culture / du couvert doit être en phase avec l'espèce de vivace ciblée (figure 18). En effet, elle devra présenter une forte biomasse lorsque l'adventice commence à se développer de manière à être concurrentielle tant pour les ressources minérales que pour intercepter la lumière incidente. Quel que soit la culture ou le couvert envisagé, seule une bonne implantation pourra garantir son effet nettoyant.

Des moyens mécaniques pour intervenir aux stades sensibles

Les stratégies d'épuisement, à mobiliser pour épuiser les réserves racinaires des adventices vivaces sont de différents types et seront fonction des vivaces ciblées.

La première technique vise à faucher l'adventice lorsqu'elle a formé ses bourgeons floraux, c'est-à-dire puisé dans ses réserves. Cette stratégie est la seule applicable pour le rumex dont il faut veiller à ne pas fragmenter le système racinaire. Elle est appliquée sur les autres adventices de manière simultanée à la récolte des cultures.

La deuxième technique vise à fragmenter les racines pour lever la dormance de bourgeons végétatifs et entraîner la production de nouvelles pousses qui vont épuiser les réserves racinaires. Il faut donc veiller à induire une forte fragmentation pour stimuler un grand nombre de repousses. Ces dernières seront détruites lors de passages superficiels ultérieurs, avec des déchaumeurs présentant des socs à ailettes avec un bon recouvrement entre les socs, lorsque l'adventice aura atteint un stade critique. Il est entendu qu'une telle stratégie ne fonctionne que si plusieurs passages sont réalisés. En effet, un seul passage ne conduira qu'à multiplier les adventices (Favrelière 2014). Il y a lieu d'attendre que ces adventices aient atteint le stade sensible (figure 15) avant de réaliser les passages successif de déchaumage. Entre

deux passages il faut idéalement attendre 2 à 4 semaines afin de permettre aux plantules d'épuiser un maximum les réserves racinaires avant d'être détruites (Favrelière 2014). Cette technique fonctionne avec les différentes adventices pérennes si ce n'est le rumex dont il faut éviter de fragmenter les racines.

La troisième technique vise à extraire les racines du sol pour soit les laisser sécher en surface lorsque les conditions climatiques sont propices soit les exporter. Cette technique est préconisée pour la gestion d'espèces dont les bourgeons végétatifs sont proches de la surface tel le chiendent, dont les rhizomes peuvent être rassemblés avec une herse étrille. C'est également une technique qui peut être appliquée au rumex dont les racines peuvent être ramenées en surface à l'aide d'un vibroculteur après avoir été scalpées à une profondeur de 12-15 cm. Ces racines devront être ramassées et exportées (Favrelière 2014). Soulignons que, pour ce qui est du rumex, la méthode la plus efficace afin d'assurer son contrôle demeure l'arrachage manuel, avec une fourche bêche (figure 17), lorsque les densités le permettent (≈ 1 rumex/10m²). Les 12-15 premiers centimètres de racine devront être enlevés si l'on souhaite éviter une reprise de la plante.

Il y a dès lors lieu de réfléchir sa succession culturale en tenant compte des adventices pérennes présentes afin d'aménager des fenêtres d'intervention en permettant la gestion (Favrelière). Sur cette base, cet auteur propose des calendriers présentant les fenêtres d'intervention disponibles en fonction des adventices et cultures considérées (figures 19 à 21).

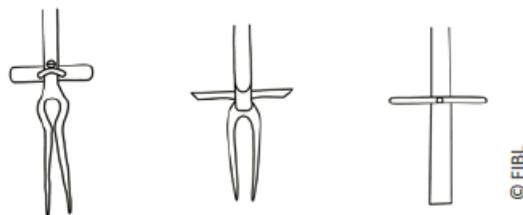


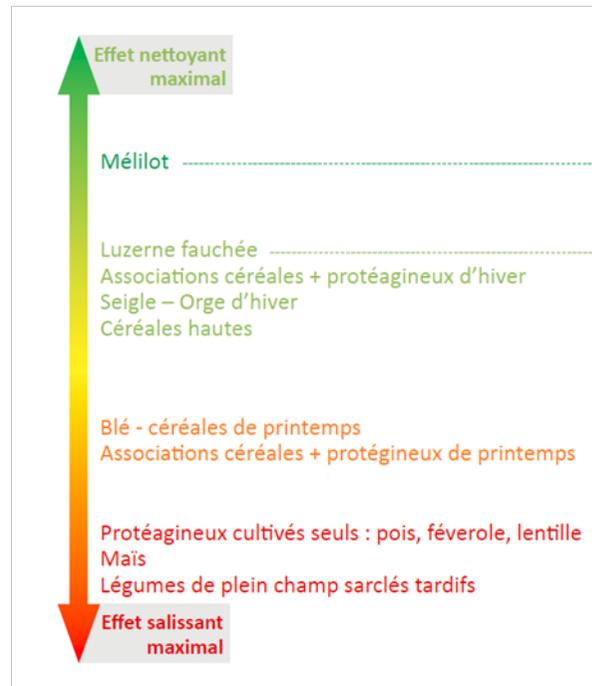
Figure 17. Quelques exemples de fourche-bêches utilisable pour arracher manuellement les rumex (FIBL)

Effet nettoyant des cultures vis-à-vis des adventices suivantes :

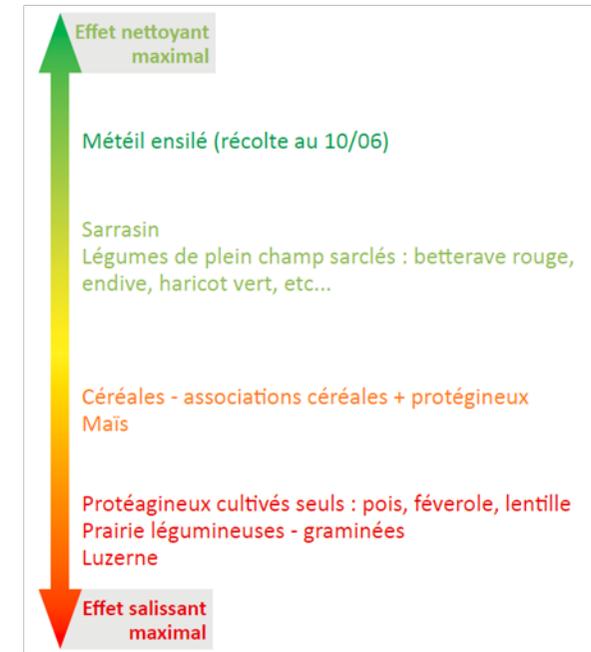
Chardon



Laiteron



Rumex



		Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Jun	Juillet	Août	Sept.	Oct.	
Cultures d'hiver	Colza	Cultures présentes, interventions impossibles											déchaumages répétés				
	Céréales d'hiver Protéagineux d'hiver				Cultures présentes, interventions impossibles								étêtage manuel / écimage	écimage	déchaumages répétés		
	Escourgeon				Cultures présentes, interventions impossibles								étêtage manuel / écimage	déchaumages répétés (+couvert d'interculture)			
	Méteil (céréales et protéagineux) récolte immature				Cultures présentes, interventions impossibles								déchaumages répétés (+couvert d'interculture)				
Cultures de printemps	Céréales de printemps Protéagineux de printemps											Cultures présentes, interventions impossibles		déchaumages répétés			
	Pomme de terre											Cultures présentes, interventions impossibles		arrachage manuel			
	Pois de conserve											Cultures présentes, interventions impossibles		déchaumages répétés			
	Oignon										binages + désherbage manuel		Cultures présentes, interventions impossibles				
	Sarrasin										Cultures présentes, interventions impossibles		Cultures présentes, interventions impossibles				
	Maïs										travaux superficiels du sol répétés		binages		Cultures présentes, interventions impossibles		
	Potimarron										travaux superficiels du sol répétés		binages		Cultures présentes, interventions impossibles		
	Betterave rouge Carotte Chicorée Choux										travaux superficiels du sol répétés		binages + désherbage manuel		Cultures présentes, interventions impossibles		
	Haricot vert										travaux superficiels du sol répétés		binages		Cultures présentes, interventions impossibles		
	Poireau										travaux superficiels du sol répétés		binages		Cultures présentes, interventions impossibles		
Cultures pluriannuelles	Luzernes et prairies temporaires fauchées											fauches		Cultures présentes, interventions impossibles			

Légende : période à laquelle le laitron est le plus sensible Parcelle nue, interventions possibles Culture présente mais interventions possibles Culture présente, interventions impossibles

Réalisation : E. Favrelière, AGFRT - Conception graphique : C. Czernyba, AGFRT - © AGFRT

		Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.	Oct.			
Cultures d'hiver	Colza	Culture présente, interventions impossibles											déchaumages répétés						
	Céréales d'hiver Protéagineux d'hiver				Culture présente, interventions impossibles								étêtage manuel / écimage	écimage	déchaumages répétés				
	Escourgeon				Culture présente, interventions impossibles								étêtage manuel / écimage	déchaumages répétés (+couvert d'interculture)					
	Méteil (céréales et protéagineux) récolte immature				Culture présente, interventions impossibles								déchaumages répétés (+couvert d'interculture)						
Cultures de printemps	Céréales de printemps Protéagineux de printemps											Culture présente, interventions impossibles			déchaumages répétés				
	Pomme de terre											Culture présente, interventions impossibles		arrachage manuel					
	Pois de conserve											Culture présente, interventions impossibles		déchaumages répétés					
	Oignon										binages + désherbage manuel	Culture présente, interventions impossibles		désherbage manuel					
	Sarrasin											Culture présente, interventions impossibles							
	Maïs										travaux superficiels du sol répétés	binages		Culture présente, interventions impossibles					
	Potimarron											binages			Culture présente, interventions impossibles				
	Betterave rouge Carotte Chicorée Choux											binages + désherbage manuel		Culture présente, interventions impossibles					
	Haricot vert											travaux superficiels du sol répétés		binages		Culture présente, interventions impossibles			
	Poireau											travaux superficiels du sol répétés		binages		Culture présente, interventions impossibles			
Cultures pluriannuelles	Luzernes et prairies temporaires fauchées											Culture présente, interventions impossibles		fauches		Culture présente, interventions impossibles			

Réalisation : E. Favrelière, AGT-RT - Conception graphique : C. Czeryba, AGT-RT - © AGT-RT

Légende : période à laquelle le laitron est le plus sensible Parcelle nue, interventions possibles Culture présente mais interventions possibles Culture présente, interventions impossibles

		Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	
Cultures d'hiver	Céréales d'hiver	arrachage manuel déchaumages		arrachage manuel									déchaumages			arrachage manuel
	<i>Céréales d'hiver binée</i>							binages								
	Colza		binages													
Cultures de printemps	Céréales de printemps						déchaumages	arrachage manuel					déchaumages			
	<i>Céréales de printemps binée</i>								binages							
	Cultures sarclées								arrachage manuel déchaumages		arrachage manuel + binage					
	Cultures légumières en buttes / planches									arrachage manuel						

Légende : Parcelle nue, interventions possibles Culture présente mais interventions possibles
 Culture présente, interventions impossibles

6. Développement d'une approche intégrée de définition de systèmes de cultures pour limiter le développement des adventices

L'efficacité d'une stratégie de gestion des adventices est la résultante d'interactions complexes entre de nombreux déterminants : techniques et dates d'implantation, variétés, semis associés, succession culturale... Pris séparément, ces différents leviers alternatifs n'ont souvent qu'un impact limité car chacun risque de promouvoir une communauté adventice spécifique (Chauvel et al., 2018). Ainsi la diversification des périodes de semis est efficace pour gérer des espèces dont la période de germination-levée est très marquée, tel le vulpin des champs, mais aura peu d'effet sur des espèces germant toute l'année comme le pâturin annuel ou le séneçon commun (Chauvel et al., 2018). De même, la mise en place de couverts denses limitant la lumière incidente est efficace contre la majorité des espèces si ce n'est les espèces volubiles, grimpantes, telle le gaillet gratteron, ou encore les espèces pérennes, comme le chardon des champs (Chauvel et al., 2018).

Dans leur quête d'un contrôle durable de l'enherbement, tout l'enjeu pour les agriculteurs est alors de savoir quelles combinaisons de pratiques offriront la meilleure efficacité afin de contrôler la flore adventice en place. Le grand défi de la maîtrise de la flore adventice sans herbicide réside en effet dans la connaissance de la réponse des espèces aux pratiques agronomiques. Ce afin de construire des stratégies préventives de contrôle avant de mettre en œuvre des pratiques de désherbage (Chauvel et al., 2018).

Concrètement, Mischler et al. (2007) proposent d'agréger les pratiques agronomiques de la manière suivante afin de construire un système de culture intégré :

- 1) Avant tout construire une rotation qui s'oppose au développement des adventices (alternance de cultures d'hiver et de printemps, intégrer des retards de date de semis en blé d'hiver) ;
- 2) Positionner le labour dans la rotation et éviter les labours annuels ;
- 3) Positionner les déchaumages en fonction de la flore dominante ;
- 4) Utiliser le potentiel d'étouffement des cultures et des variétés ;
- 5) Gérer les contaminations via les bordures et les outils dont la moissonneuse batteuse.

Afin de réaliser un diagnostic de ses pratiques avec l'identification des pratiques agronomiques à mettre en œuvre, ce tant dans des systèmes de cultures à dominante 'cultures d'hiver' ou 'cultures de printemps', ces auteurs proposent les deux questionnaires repris ci-après (tableaux 4 et 5).

Systeme de cultures avec une dominante de cultures d'hiver

Tableau 4. Identification des pratiques agronomiques à mettre en œuvre afin de limiter le développement des adventices dans une rotation avec une dominante de cultures d'hiver

En général, dans ces systèmes de culture, la flore dominante est la suivante : une flore à levée automnale et hivernale telle que le vulpin, le brôme, le ray-grass, l'agrostis, les véroniques, les pensées, le gaillet, le coquelicot, le séneçon, la matricaire.

Analysez les pratiques favorisant cette flore		Réponse (rayer la mention inutile)	Sélectionnez les solutions agronomiques* (si réponse OUI)
1 - forte proportion de cultures d'hiver dans la rotation (système SCOP) - semis précoces en céréales d'hiver	> 75% cultures hiver	oui / non	Augmenter le % de cultures de printemps et viser un équilibre entre 50 et 60% de cultures d'hiver sur la rotation.
	Présence de blé sur blé	oui / non	Supprimer le blé sur blé par l'introduction de cultures de printemps.
	Réalisation de semis avant le 05/10	oui / non	Attendre le 05/10 pour démarrer les semis.
	Date moyenne de semis : avant le 15/10	oui / non	Viser une date moyenne de semis au 20/10 voire au delà en non labour
2 - travail du sol profond inapproprié	Non labour permanent	oui / non	Introduire le labour au milieu de la période de levée préférentielle des adventices (novembre) ou Si maintien du non labour, viser 1 à 2 déchaumages de plus qu'en système labour ET démarrer les semis de blé au 10/10.
	Labour tous les ans	oui / non	Espacer le labour pour le réaliser tous les 2 à 3 ans et préférentiellement avant une culture de printemps.
3 - déchaumages peu nombreux en septembre, octobre	Moins de 2 passages	oui / non	Réaliser 1 - 2 déchaumages en septembre/octobre en complément des déchaumages de juillet/août qui visent à entretenir une pression sur les estivales.
4 - Cultures peu étouffantes dans la rotation - Variétés de blé peu étouffantes	Voir tableau « leviers » page 6	oui / non	- privilégier les espèces étouffantes en respectant le délai de retour des cultures
	Variétés courtes et à port dressé	oui / non	Rechercher des variétés plus hautes et à port retombant.

* ces solutions sont à adapter en fonction des contraintes de marchés, contractuelles et/ou d'organisation. L'impossibilité d'utiliser une des solutions, doit nécessairement impliquer un recours accru aux autres leviers agronomiques (en particulier en non labour ou semis direct)

Système de cultures avec une dominante de cultures de printemps

Tableau 5. Identification des pratiques agronomiques à mettre en œuvre afin de limiter le développement des adventices dans une rotation avec une dominante de cultures de printemps

En général, dans ces systèmes de culture, la flore dominante est la suivante : une flore à levée printanière et estivale telle que le fumeterre, la mercuriale, la morelle, le chénopode, les PSD, la folle avoine.

Analysez vos pratiques favorisant cette flore		Réponse (rayer la mention inutile)	Sélectionnez les solutions agronomiques* (si réponse OUI)
1 - proportion importante de cultures de printemps et d'été systèmes betteraviers, légumiers...) - périodes de semis étroite au printemps	<50% cultures d'hiver	oui / non	- Augmenter le % de cultures d'hiver et viser un équilibre entre 50 et 60% de cultures d'hiver sur la rotation.
	mi-février à début avril	oui / non	- Diversifier les dates de semis en introduisant des cultures d'hiver (colza, céréales) et des cultures d'été (tournesol**, maïs) - ...mais ne pas semer trop tôt le blé d'hiver pour éviter une inversion de flore (pas avant le 05/10)
2 - travail du sol profond inapproprié	Non labour permanent	oui / non	- Le non labour est moins pénalisant en cas de présence de dicotylédones que de graminées. ou - Si maintien du non labour, viser 1 à 2 déchaumages de plus qu'en système labour ET démarrer les semis de blé au 10/10 - Prévoir des faux semis au printemps en décalant la date de semis de 10 à 15 jours
	Labour tous les ans	oui / non	- Espacer le labour pour le réaliser tous les 2 à 3 ans et préférentiellement avant une culture de printemps - Prévoir des faux semis au printemps en décalant la date de semis de 10 à 15 jours.
3 - déchaumages peu nombreux en juillet et août	Moins de 2 passages	oui / non	- Réaliser 1-2 passages en juillet et août en complément des déchaumages de septembre et octobre qui visent à entretenir une pression sur les hivernales.
4 - variétés de blé peu étouffantes - semis ou plantations à écartement large	Variétés courtes et à port dressé	oui / non	- Rechercher des variétés plus hautes et à port retombant.
	Betteraves, pommes de terre, maïs	oui / non	- Introduire du désherbage mécanique (bineuse, houe rotative)

* ces solutions sont à adapter en fonction des contraintes de marchés, contractuelles et/ou d'organisation. L'impossibilité d'utiliser une des solutions, doit nécessairement impliquer un recours accru aux autres leviers agronomiques (en particulier en non labour ou semis direct)

<http://www.agro-transfert-rt.org/outils/odera/>). Ce dernier permet à l'agriculteur d'évaluer le risque en adventices dans le système de culture actuel (pratiques agronomiques déjà en place) sur base d'une description rapide de la parcelle, des adventices préoccupantes ainsi que des pratiques culturales mobilisées.

Ces différentes approches soulignent l'absence de solutions clés en mains en matière de systèmes de culture : ceux-ci doivent avant tout s'adapter au contexte pédoclimatique ainsi qu'au contexte de production.

7. Conclusion

De nombreux leviers de prévention des adventices sont activables à toutes les échelles spacio-temporelles, depuis la rotation, l'agradation des propriétés physicochimiques, biologiques et écologiques du sol ou l'aménagement paysager jusqu'aux moindres détails de l'itinéraire technique propre à chaque culture. Aucun de ces leviers seul, ni même une combinaison hasardeuse de quelques-uns d'entre eux, n'est en mesure d'améliorer la maîtrise de la prolifération des adventices. S'il faut désormais évoluer vers une agriculture plus résiliente, qui préserve les ressources et la santé des écosystèmes et des humains qui les habitent, il est nécessaire de définir des combinaisons complexes et cohérentes de ces leviers, non seulement entre eux, mais en intégrant également les autres dimensions de la production agricole que sont la fertilité, les maladies et les ravageurs, le contexte pédoclimatique, social et économique, les modalités de récolte, l'organisation du travail, ... en fait, tout ce qui rentre dans la définition du système de culture au sens agro écologique du terme. Ces prises en compte multiples ne relèvent pas de la seule responsabilité des agriculteurs bien qu'ils en soient le maître d'œuvre.

Références et ressources

- Agro-transfert, 2011a. Ressources et Techniques. La succession culturale. Fiche technique
- Agro-transfert, 2011b. Ressources et Techniques. Le retard de la date de semis des céréales d'hiver. Fiche technique
- Agro-transfert, 2011c. Ressources et Techniques. Les autres moyens pour limiter le risque en adventices. Fiche technique
- Agro-transfert, 2011d. Ressources et Techniques. Le labour. Fiche technique
- Agro-transfert, 2011e. Ressources et Techniques. Le travail superficiel du sol en interculture. Fiche technique
- Adeux G et al. 2019. Mitigating crop yield losses through weed diversity. *Nature Sustainability*, 2, 1018–1026.
- Amossé C., M.-H. Jeuffroy, C. David. 2013a. Relay intercropping of legume cover crops in organic winter wheat: Effects on performance and resource availability. *Field Crops Research*, 145, 78-87.
- Amossé C. et al. 2013b. Relay-intercropped forage legumes help to control weeds in organic grain production. *Eur. J. Agron.*, 49, 158-167.
- Armengot, L. et al. 2016. Tillage as a driver of change in weed communities: a functional perspective. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 222 : 276–285.
- Askegaard, M. 2017a. Crop rotation and its ability to suppress perennial weeds. *OK Net Arable Practice Abstract*. Permalink: [Orgprints.org/31053](https://orgprints.org/31053)
- Askegaard M. 2017b. Growing covercrops in organic arable crop rotations : Best practices from Denmark. *OK Net Arable Practice Abstract*. Permalink : [Orgprints.org/31051](https://orgprints.org/31051)
- Basilico, L. 2016. Maîtriser les adventices dans de nouveaux contextes de production. Leviers techniques & retours d'expériences pour une gestion durable. Synthèse des rencontres 2015 du GIS GC HP2E et du RMT Florad. 26p.
- Cadoux S., Sauzet G. et Vuillemin F. 2015. Modifier son système de culture et ses pratiques d'implantation pour réduire la dépendance aux herbicides. In : *Rencontres sur la gestion durable des adventices en grandes cultures (GCHP2E & RMT FLORAD, ed.)*, p18-20.
- Cantin, J. 2015. Semis du blé à interlignes de 10 cm. Présentation St-Rémi, 3 décembre 2015
- Carton N., Naudin C., Piva G., Corre-Hellou G., 2020. Intercropping Winter Lupin and Triticale Increases Weed Suppression and Total Yield. *Agriculture*, 10, doi:10.3390/agriculture10080316
- Casagrande M. et al, 2017. Gérer les adventices dans les systèmes de grandes cultures biologiques—Retour d'expériences du Réseau RotAB. ITAB—Réseau RotAB
- Celette F. Vrignon S., Luczak L., 2017. Associer blé et légumineuses de services en AB. Restitution du projet CASDAR ALLIANCE
- Chauvel B., Darmency H., Munier-Jolain N., Rodriguez A. (Coord.), 2018. Gestion durable de la flore adventice des cultures. Versailles, Editions Quae, 254p
- Corre-Hellou G., Dibet A., Huggaard Nielsen H., Crozat Y., Gooding M., Ambus P., Dahlmann C., von Fragstein P., Pristeri A., M.Monti, M., Jensen E.S. 2012. The competitive ability of pea–barley intercrops against weeds and the interactions with crop productivity and soil N availability. *Field Crops Research*, 122 : 264-272.
- Deschamps T., Drillaud C., Moynier J.-L. 2017. Gestion des adventices: une vigilance particulière pendant les chantiers de récolte. *ARVALIS*, 3p.

- De Vita P., Pecorella I., Colecchia S.A., Saia S., 2017. Reduced inter-row distance improves yield and competition against weeds in a semi-dwarf durum wheat variety. *European Journal of Agronomy*, 86: 69-77.
- Favrelière E. Gestion des adventices vivaces en agriculture biologique. *Agro-Transfert, VivLéBio*. 25p.
- Favrelière E. 2014. Moyens curatifs : comment mettre en place une stratégie mécanique de gestion des adventices. *Agro-Transfert*.
- Fontaine L., Bernicot M.-H., Rolland B. 2011. Des variétés de blé concurrentes des adventices pour l'agriculture durable, en particulier l'agriculture biologique. *Alter Agri*, 106, 15-18.
- Gaba S, Cheviron N, Perrot T, Piutti S, Gautier J-L and Bretagnolle V (2020) Weeds Enhance Multifunctionality in Arable Lands in South-West of France. *Front. Sustain. Food Syst.* 4:71 doi: 10.3389/fsufs.2020.00071
- Guesquière J., Cadillon A, Fourrié L et Fontaine L., 2012. Choisir et réussir son couvert végétal pendant l'interculture en AB. *ITAB*
- Gyselincx W., Dierickx S. 2020 L'association, une clé de réussite pour le colza biologique. A paraître.
- Heap, I.M., 2016. The International Survey of Herbicide Resistant Weeds. <http://www.weedscience.org/>.
- Helias R., Lhermitte M. 2019 Des couverts vivants aussi en AB. *Perspectives agricoles*. 462 64-66
- Klaiss M., Siegrist F. and Weidmann G. 2017. In : *OK-Net Arable practice abstract (FiBL ed.)*, Permalink: [Orgprints.org/31018](https://orgprints.org/31018)
- Labreuche J., Legère R., Sauzet G., Bouet S., Deneufbourg F., 2015. Les légumineuses pérennes profitent à couvert. *Perspectives agricoles*. 421, 48-52
- Labreuche J. Hauprich P. Ray T., Bodilis A.-M., Jezequel S. 2020. Les cultures de printemps cohabitent dangereusement avec les couverts permanents. *Perspectives agricoles*. 5.
- Lorin M., Jeuffroy M.-H., Butier A., Valantin-Morison M. 2015. Undersowing winter oilseed rape with frost-sensitive legume living mulches to improve weed control. *Europ. J. Agronomy*, 71: 96–105
- Luxen P., Godden B., Limbourg P., Miserque O. 2006. Le compostage des fumiers, une technique de valorisation des matières organiques en agricultures. *Les livrets de l'Agriculture n°3. SPW*. 33 p.
- Umanitoba: http://www.umanitoba.ca/outreach/naturalagriculture/weed/files/longterm/rotation_e.htm
- Meagan E. Schipanski M.E., Barbercheck M.E., Murrell E.G., Harper J., Finney D.M., Kaye J.P., Mortensen D.A., Smith R.G. 2017. Balancing multiple objectives in organic feed and forage cropping systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 239 : 219–227.
- Mediene S., Colbach N., Charrier X., Doisy D. 2015. Régulation de la flore adventice par l'insertion de prairies temporaires. In : *Rencontres sur la gestion durable des adventices en grandes cultures (GCHP2E & RMT FLORAD, ed.)*, p53-54.
- Menetrier P., Lebras M., Cadoux F., Ouy M., Feret M., Moulin V. 2016 *Désherbage de rattrapage en grandes cultures*. *Chambre d'Agriculture du val de Loire TEC-INFO* 20.
- Mischler P., Lheureux S., Sené O., Dumoulin F., Menu P. 2007. Des parcelles plus propres avec moins d'herbicides grâce à des systèmes de culture intégrés fondés sur l'agronomie. *Normedia*, 12p.
- Réseau d'avertissements phytosanitaires – Bulletin d'information N° 5 – Ordre général – 15 mai 2015
- Schuster M., Gastal F., Doisy D., Charrier X., de Moraes A., Médiène S., Barbu C. 2020. Weed regulation by crop and grassland competition: critical biomass level and persistence rate, *European Journal of Agronomy* 113:125963

Sicard H., Fontaine L., Zaganiacz V. (Coord.) 2012. Connaître les adventices pour les maîtriser en grandes cultures sans herbicide. 88p.

Verret V., Gardarin A., Pelzer E., Médiène S. , Makowski D., Valantin-Morison M., 2017. Can legume companion plants control weeds without decreasing crop yield? A meta-analysis. *Field Crops Research*, 204: 158–16

Weill, A. 2018 Répression du laiteron des champs, du chardon des champs et du tussilage. CETAB+



Synthèse réalisée dans le cadre du plan Bio 2030



PLAN BIO 2030

AUTEURS :
Daniel Jamar et Didier Stilmant
Département Durabilité, Systèmes et
Prospectives
Unité Systèmes agricoles

Relecture : Michaël Mathot et
Marie Moerman

Mise en page : Geneviève Minne (CRA-W)