Février 2019

PROJET INGÉNIEUR 3A - SPÉCIALITÉ « PISTv »

Cécile Barlier - Robinson Meguerditchian--Hoffmeyer - Cécile Vierling

# Utilisation des couverts végétaux pour le contrôle des adventices

Enseignante tuteur :
Safia Médiène

Encadrantes du projet
Marion Casagrande
Laurence Fontaine
Stéphanie Mothes

**Cover crops in weed management**

The management of weeds in organic agriculture requires a combination of many levers. Among with longer rotations, the introduction of **cover crops** to compete with **weeds** is a solution that needs to be explored. Our work with the Technical Institute of Organic Agriculture aims at summarizing the actual knowledge concerning cover crops and weeds management. We were first asked to review the **scientific** and **technical** results and then to prepare an **interview guide** aiming at identifying the solutions developed by farmers.

Cover crops can affect the development of weeds either **during their growth** (living cover crops) or **after their destruction** (mulches). During both stages, two mechanisms can occur : **competition** for the nutrients and for light between cover crops and weeds and **allelopathy**. Living cover crops with a lot of **biomass** and a **complete soil cover** such as white mustard have a great potential to compete with weeds. Fast growing cover crops and small seeds are two characteristics of efficient cover crops. Generally, the mixtures of crops are more efficient than single ones as they benefit from a great complementarity. Allelopathic effects has been identified during cover crops growth particularly in the brassicaceae family that releases glucosinolates.

On the other hand, after their destruction, the mulches of cover crops act as a physical barrier, preventing the growth of weeds seedlings. Allelopathy occurs as well after the destruction of the cover crops, as it allows the allelopathic molecules to spread in the soil. Rye residues have a strong effect on the germination and growth of weeds.

The **technical management of cover crops** has an influence on their ability to compete with weeds. **Fertilization** may help the establishment of the cover crop as well as the one of weeds, so it requires a particular attention. What is more, cover crops combined with **tillage** and false seed bed shows better results of weed management. The sowing date and precocity of the cover crop is another critical management point.

To complete these first results, a semi-structured interview guide was written for farmers and technical advisers. It will be used by the ITAB to identify innovative practices that are actually used in the field.

Cover crops are particularly promising to manage weeds but their establishment depends on climatic conditions and they have to be economically satisfying for farmers in order to be broadly used.

Key-words: organic agriculture, weeds, cover crops, mulches, competition, allelopathy, interview guide, innovation

---

Remerciements

Nous remercions chaleureusement Marion Casagrande, Laurence Fontaine et Stéphanie Mothes de l'ITAB pour nous avoir aiguillé et stimulé dans ce projet en partageant leurs expériences. Nous remercions également Safia Médiène pour son aide et ses conseils notamment pour la rédaction de la synthèse.

Nous souhaitons aussi remercier les agriculteurs que nous avons eu l'occasion de rencontrer, Dominique Dupuis, Loïc Prieur et Vincent Moulin. Échanger avec eux nous a permis d'avoir un contact avec la réalité du terrain après les recherches bibliographiques.

CONTEXTE ET DÉMARCHE SUIVIE : 5
*1. Cadrage du projet* 5
*2. Rédaction d'une synthèse bibliographique* 5
*3. Conception d'un guide d'entretien* 6
SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE : EFFETS DES COUVERTS VEGETAUX SUR LES ADVENTICES 8

**I. MÉCANISMES D'ACTIONS DES COUVERTS VIVANTS CONTRE LES ADVENTICES 6**

A. COMPÉTITION POUR LES RESSOURCES (LUMIÈRES, NUTRIMENTS, …) 6
*1. Maximiser la biomasse de couverts* 6
*2. Privilégier des espèces à croissance rapide* 7
*3. Optimiser l'utilisation des ressources pour mieux concurrencer les adventices* 7
*4. Utiliser des mélanges d'espèces dans le couvert* 9
*5. Couverts en relais et plante compagne : concurrencer les adventices sans concurrencer la culture de rente* 10
B. L'ALLÉLOPATHIE DANS LES COUVERTS VIVANTS 11
*1. Effets allélopathique des Brassicacées (crucifères) vivantes* 11
*2. Effets allélopathiques du seigle vivant* 11
*3. Effets allélopathiques du sarrasin vivant* 11
*4. Effets allélopathiques de l'avoine vivante* 12
*5. Difficulté à distinguer les effets allélopathiques des effets de compétition* 12
C. EFFETS ANNEXES DES COUVERTS VIVANTS SUR LES ADVENTICES 12
*1. Un habitat pour les auxiliaires* 12
*2. Le couvert peut devenir une adventice au cycle suivant* 13

**II. MÉCANISMES D'ACTION DES MULCHS DE COUVERTS VÉGÉTAUX SUR LES ADVENTICES 13**

A. EFFETS MÉCANIQUE ET PHYSIQUE DES MULCHS SUR LES ADVENTICES 14
*1. Une barrière mécanique dépendant de l'espèce et du mode de destruction* 14
*2. Le mulch intercepte la lumière* 14
*3. Des effets notables sur la biomasse d'adventices, évolution des communautés d'adventices* 14
B. ALLÉLOPATHIE DES RÉSIDUS 15
*1. Effets allélopathiques du seigle en mulch* 15
*2. Effets des brassicacées en mulch, via les glucosinolates* 15
*3. Autres effets allélopathiques* 16

**III. GESTION TECHNIQUE DES COUVERTS POUR LA LUTTE CONTRE LES ADVENTICES 16**

A. LE TRAVAIL DU SOL COUPLÉ AUX COUVERTS VÉGÉTAUX : DES RÉSULTATS DIVERGENTS 16
*1. Le faux semis* 17
*2. Le labour* 17
*3. Implanter le couvert sans travail du sol pour limiter le développement d'adventices* 17
B. DATE D'IMPLANTATION DU COUVERT ET PRÉCOCITÉ 17
C. EFFET DE LA FERTILISATION 18
*1. Raisonner la fertilisation en début de cycle* 18
*2. Jouer sur la disponibilité de l'azote dans le sol* 18
D. LES CONDITIONS PÉDO-CLIMATIQUES SONT DÉTERMINANTES POUR LA RÉUSSITE DU COUVERT 19

**BIBLIOGRAPHIE 21**

**ANNEXES 24**

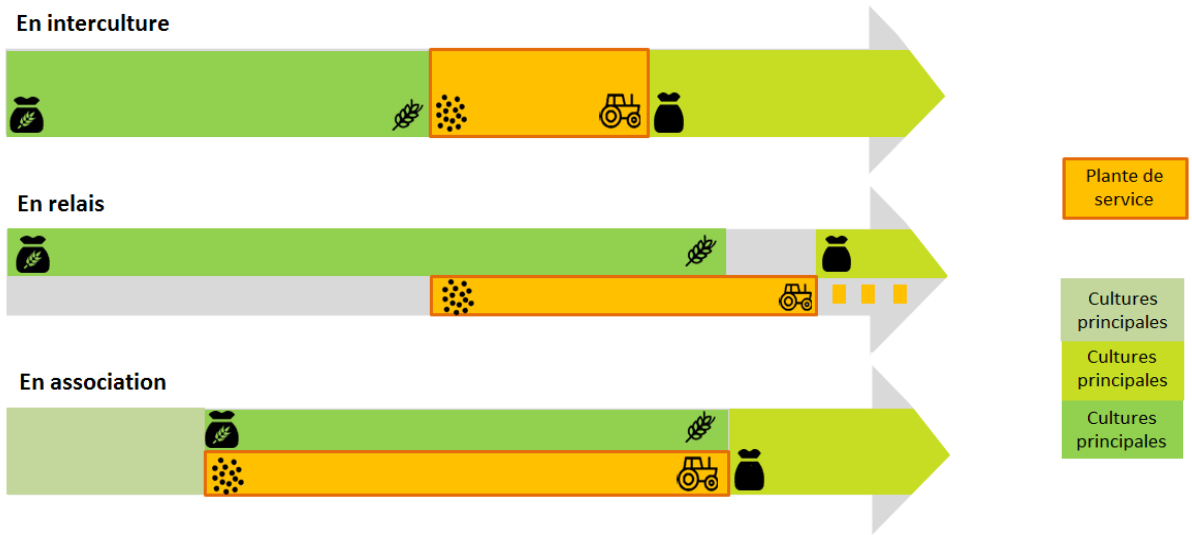
*Annexe 1 : Tableau récapitulatif de l'effet des couverts vivants contre les adventices* 24
*Annexe 2 : Tableau récapitulatif de l'effet des mulchs contre les adventices* 27
*Annexe 3 : Guide d'entretien Agriculteur* 29
*Annexe 4 : Guide d'entretien Conseiller* 38

L'Institut Technique de l'Agriculture Biologique (ITAB) est impliqué dans le développement de solutions techniques permettant le développement de l'AB en France. A ce titre, l'ITAB participe au projet Vancouver, un projet à financement européen qui réunit les instituts techniques français et le monde de la recherche pour étudier le potentiel des couverts végétaux dans la maîtrise des adventices. Nous avons travaillé en partenariat avec l'ITAB dans ce cadre.

Les **adventices** sont parmi les principaux bioagresseurs des cultures avec les ravageurs et les maladies, et potentiellement responsables de pertes de rendement substantielles. En agriculture conventionnelle, elles sont gérées majoritairement par l'utilisation d'herbicides. En AB ou dans des systèmes bas intrants, il n'existe pas une solution unique mais plutôt une **combinaison de leviers** à mobiliser pour lutter contre ces adventices. La lutte peut avoir lieu à différents stades dans le cycle des adventices : éliminer les graines présentes, empêcher leur germination, réduire la production de graines et enfin détruire la biomasse aérienne (Swanton et Booth, 2004). Le travail du sol et les rotations longues sont les principaux moyens de lutte, mais sont parfois insuffisants et les agriculteurs biologiques sont demandeurs de solutions complémentaires.

Un **couvert végétal** peut être défini comme une espèce ou mélange d'espèces cultivés en supplément des cultures de rente. Comme récapitulé dans le schéma ci-dessous, un couvert végétal peut être implanté entre deux cultures (interculture), semé avant la récolte de la culture précédente (en relais), récolté pendant la culture suivante ou même accompagner la culture principale (plantes compagnes).

*Figure 1 : Les différentes modalités insertions d'un couvert (source: ITAB)*




Les couverts remplissent de nombreuses fonctions à l'échelle de la parcelle : réduction de l'érosion, fixation d'azote, enrichissement du sol en matière organique, maintien d'un habitat pour les auxiliaires de culture… L'objectif de notre travail a été d'étudier **l'effet des couverts végétaux pour la maîtrise des adventices**.

Cette lutte peut concerner à la fois les adventices vivaces et les annuelles. Toutefois, elle sera en général plus efficace pour les adventices annuelles, qui disposent de moins de réserves et sont donc plus fragile (Teasdale et al., 2007). Les couverts peuvent agir contre les adventices

à deux moments différents : pendant la culture du couvert ou bien après sa destruction, dans la culture de rente suivante (Kruidhof et al., 2008). Dans la suite de ce travail, nous distinguerons alors les **couverts "vivants"** (« living mulch », en anglais) des **couverts "morts"** (« dead mulches », paillis, mulch).

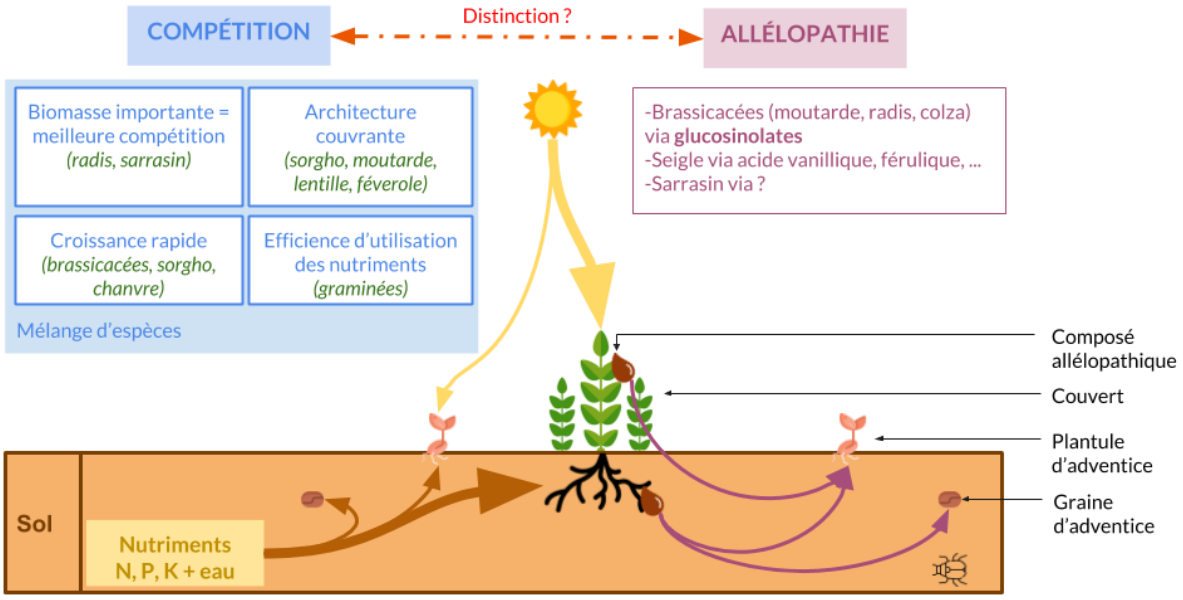
Les recherches bibliographiques pour cette synthèse n'ont pas été restreintes à l'agriculture biologique, afin de recenser le maximum d'information. La synthèse des connaissances que nous avons réalisée vise à répondre à la problématique suivante : *dans quelle mesure les couverts végétaux permettent-ils de maîtriser les adventices, dans le cadre d'une réduction d'utilisation de produits phytosanitaires ?*

Nous commencerons par expliquer les effets que peuvent avoir les couverts vivants sur les adventices, puis nous nous intéresserons à l'effet des couverts "morts", en mulch. Nous finirons par une partie plus transversale abordant l'influence de la gestion technique des couverts végétaux sur la maîtrise des adventices.

# I. Mécanismes d'actions des couverts vivants contre les adventices

De leur germination à leur destruction, les couverts végétaux couvrent le sol et empêchent le développement d'adventices selon deux mécanismes, la compétition et l'allélopathie. Le schéma suivant récapitule les effets des couverts vivants décrits dans cette première partie.

*Figure 2 : Compétition et allélopathie des couverts vivants contre les adventices*




## A. Compétition pour les ressources (lumières, nutriments, …)

Les couverts sont utilisés pour concurrencer les adventices. Ils entrent en compétition pour les ressources en eau, en nutriments et en lumière face à l'adventice.

### 1. Maximiser la biomasse de couverts

Un couvert de biomasse importante améliore la compétition pour les adventices. La biomasse racinaire permet de mieux capter l'eau et les nutriments et la biomasse aérienne d'optimiser l'interception de la lumière.

Plusieurs essais ont démontré la corrélation négative entre la biomasse du couvert et la biomasse d'adventices présentes sur la parcelle. Sur des couverts de vesce, l'effet contre les adventices dépend significativement de la biomasse du couvert : une importante biomasse de vesce réduit plus efficacement l'émergence d'adventices (Teasdale et Mohler, 1993). L'essai de Wayman (2015) mené en AB avec des couverts d'orge, de vesce velue ou d'un mélange orge / vesce velue, montre que la population d'adventices est significativement plus faible lorsque la biomasse de couvert est plus forte. La biomasse des couverts est comprise entre 5,2 et 14,8 T / ha. L'orge est le couvert qui a produit le plus de biomasse et a le plus efficacement limité la croissance des adventices. On observe le même type de résultats pour des couverts de seigle, de trèfle incarnat et de trèfle souterrain en interculture dans un système en monoculture de maïs : la suppression des adventices est meilleure lorsque la biomasse de couvert est plus importante. La biomasse de seigle (comprise entre 1,5 et 5,6 T/ha) a permis de réduire de 54 à 99% la biomasse d'adventices au cycle suivant ; la biomasse de trèfle incarnat (comprise entre 0,5 et 4,2 T/ha) a permis une réduction de 22 à 46% et la biomasse

de trèfle souterrain (comprise entre 0,5 et 4,25 T/ha) une réduction de 22 à 67% (Barberi et Mazzoncini, 2001).

## 2. Privilégier des espèces à croissance rapide

Des espèces de couverts ayant une croissance intense et rapide à la fois des tiges et de l'appareil racinaire permettent non seulement de maximiser la biomasse des couverts, mais aussi de concurrencer plus rapidement les adventices. Plusieurs publications mentionnent l'efficacité de la moutarde pour lutter contre les adventices. Comparée aux autres espèces de couverts, la moutarde blanche est celle qui émerge le plus rapidement et produit la plus importante quantité de matière sèche les premières semaines (Brust et al., 2014). La moutarde est aussi mentionnée pour ces propriétés dans plusieurs publications techniques, par exemple le guide d'utilisation des couverts de l'ITAB (ITAB (S. Minette), 2012). La moutarde blanche, le radis oléagineux et la phacélie accumulent également beaucoup de matière sèche rapidement, et apparaissent ainsi intéressants pour lutter contre les adventices. En Allemagne, ils ont permis de réduire la densité d'adventices de respectivement 59%, 66% et 77% comparé à un sol nu, 12 semaines après semis (Brust et al., 2014). Enfin, le sorgho fourrager, l'ensemble des brassicacées, le sarrasin et le chanvre ont été reconnus comme "à croissance très rapide" et recommandés pour la lutte contre les adventices (ITAB (H. Leplatois), 2005).

La rapidité de croissance est aussi liée à la taille de graines de l'espèce de couvert. Il apparaît que les espèces de couverts à petites graines émergent plus rapidement, car la graine a besoin de moins d'eau pour germer. La petite taille de graine des brassicacées leur permet de capter rapidement l'eau et de germer plus vite, grâce à un rapport surface / volume élevé. Le sarrasin quant à lui a des graines plus grosses ce qui peut retarder sa germination selon la quantité d'eau disponible (Brust et al., 2014). En Lituanie, une étude constate que la moutarde blanche associée à du sarrasin a un meilleur effet sur les adventices que le lupin associé à du radis, et explique ce retard par la plus lente germination du lupin. En effet c'est une espèce à grosses graines, rugueuse, qui nécessite une plus grande humidité pour germer. La levée du lupin est plus tardive, retarde le développement du couvert, qui est alors moins efficace pour étouffer les adventices. (Masilionyte et al., 2017).

## 3. Optimiser l'utilisation des ressources pour mieux concurrencer les adventices

### *a) La ressource en azote et nutriments*

Les couverts sont souvent utilisés en interculture pour capter l'azote du sol et limiter le lessivage (CIPAN). Ces couverts fort consommateurs d'azote concurrencent les adventices pour cette ressource. Semer un couvert fort consommateur d'azote comme la moutarde, le sarrasin ou le maïs limite le développement d'adventices nitrophiles telles que le mouron ou les orties (ITAB (H. Leplatois), 2005). Les graminées sont également intéressantes pour cet aspect, ce sont de fortes consommatrices en azote (Baraibar et al., 2017).

Ainsi il est parfois intéressant de cibler des espèces d'adventices en utilisant des couverts de la même famille. Par exemple il a été montré que planter des graminées dans le couvert limite le développement des adventices de type graminées. (GABB32, 2016)

### *b) La ressource lumineuse*

La capacité des couverts à concurrencer les adventices pour la ressource lumineuse dépend de leur architecture : taille, surface foliaire, port, complémentarité avec la culture d'intérêt dans le cas de plantes compagnes… En interceptant la lumière, ils bloquent la germination des adventices et empêchent les jeunes pousses de se développer.

Le sorgho, la moutarde et le sarrasin sont des couverts très couvrants qui chacun seuls au bout de 39 jours interceptent 98% de la lumière. Implantées en cultures intermédiaires, elles ont développé suffisamment de biomasse pour supprimer quasi-totalement (99%) les adventices de la parcelle (notamment l'amarante), en interceptant les rayonnement et empêchant les adventices, ombragées, de capter suffisamment de lumière pour se développer (Tschuy et al., 2014). Une interception précoce de la lumière par les couverts joue sur la réduction de la biomasse d'adventice en automne (Kruidhof et al., 2008).

La capacité à capter la lumière évolue au cours de la croissance de la plante de couverture. Il est donc important de considérer le port de l'espèce de couvert choisie. Par exemple, la capacité d'un couvert de niébé à concurrencer des adventices (le tournesol commun et pourpier commun) dépend directement de son génotype de port : érigé, semi-érigé, prostré. Tous les types de niébé permettent de réduire la biomasse de pourpier et de tournesol mais le niébé au port érigé est le plus efficace en raison de sa plus grande taille. Il grandit rapidement en hauteur et sa surface foliaire maximale est en plus haute position, bien que son efficacité d'utilisation de la lumière soit plus faible que les autres génotypes de niébé (Wang et al., 2006).

En particulier pour les plantes compagnes, l'architecture des couverts joue un rôle important : la plante de couverture doit avoir une forme complémentaire de celle de la culture d'intérêt. Dans un colza d'hiver, un couvert de légumineuses gélives (mélange lentille / féverole) a permis de contrôler significativement la pression adventice, sans concurrencer la culture de colza (Cadoux et al., 2015).

Enfin, la compétition pour la lumière est plus efficace avec un couvert vivant. Les couverts denses et vivants interceptent mieux la lumière que les couverts broyés en mulch (Wayman et al., 2015). De plus, contrairement à un mulch, le couvert vivant est capable de capter les rayonnements rouges. Cela réduit le ratio rayonnement rouge/infra-rouge et empêche la germination des adventices (Teasdale et al., 2007).

## 4. Utiliser des mélanges d'espèces dans le couvert

Plusieurs articles mettent en lumière l'intérêt des mélanges d'espèces dans les couverts.

### *a) Mélanges légumineuses / graminées*

Associer des espèces qui ont des besoins complémentaires permet d'optimiser l'utilisation des ressources du milieu par les plantes de couverture. Pour jouer sur la complémentarité d'utilisation des nutriments, de nombreux mélanges associent une légumineuse à une graminée dans les couverts. La graminée absorbe fortement l'azote du sol, qui n'est alors plus disponible pour les adventices, tandis que la légumineuse capte l'azote atmosphérique. Cela permet au couvert de se développer rapidement et assure une bonne couverture du sol pour contrôler les adventices. Les agriculteurs du groupement bio du Gers ont ainsi arrêté les couverts de féverole seule pour implanter plutôt des mélanges : féverole / avoine ; féverole / vesce / avoine ; féverole / vesce / phacélie ; féverole / lin (GABB32, 2013). Il existe aussi des associations d'avoine diploïde brésilienne (avoine rude) avec de la vesce (ITAB (S. Minette), 2012). Une évaluation sur les couverts d'hiver (présents de l'automne au printemps) a montré qu'en mélange, deux légumineuses (trèfle rouge et pois d'hiver autrichien), deux graminées (seigle et avoine) et deux brassicacées (radis fourrager et colza) avaient des effets suppressifs sur les adventices, pendant une interculture longue après un blé d'hiver ou pendant une interculture courte après un maïs fourrager. Les auteurs expliquent cet effet par la présence dans le mélange de graminées à croissance rapide et à forte consommation d'azote. Cependant, la part de graminées ne doit pas être trop importante, le semis doit être très peu dense (inférieur à 20% de la densité habituelle) pour laisser aux autres espèces du mélange l'opportunité de se développer (Baraibar et al., 2017).

### *b) Mélanges moutarde - sarrasin*

En Lituanie, il a été montré que la moutarde associée à du sarrasin est plus efficace contre les adventices qu'une moutarde non associée : dans l'essai en question, l'implantation de moutarde blanche a entraîné une diminution de 15,2 et 36,8 % de la biomasse végétale spontanée, tandis que son implantation en mélange avec le sarrasin a entraîné une diminution de 55,4 et 59,3 % de la biomasse. Le sarrasin, choisi pour sa capacité à assimiler le phosphore insoluble du sol, a permis au couvert de mieux utiliser les ressources disponibles, et d'ainsi mieux se développer et mieux concurrencer les adventices (Masilionyte et al., 2017). Dans un autre essai, le mélange moutarde jaune / sarrasin / colza implanté en interculture, a entraîné une disparition complète des graines de sétaire dans la parcelle, et une réduction de la présence du chénopode blanc et de l'abutilon respectivement de 85% et 80% (Mirsky et al., 2010).

### *c) Autres mélanges*

Il apparaît intéressant d'associer des plantes à l'architecture complémentaire. Deux espèces aux systèmes racinaires différents comme la navette d'hiver et le seigle (système fasciculé et système pivot) permettent d'exploiter un plus grand volume de sol (ITAB (S. Minette), 2012). La navette est par ailleurs une espèce très couvrante donc adaptée à un usage contre les adventices.

On trouve aussi des couverts en mélange implantés comme plantes compagnes, c'est à dire gardés sous la culture de rente. L'essai de Cadoux (2015) montre que des mélanges lentilles

/ féverole ; lentille / fenugrec / gesse ; vesce / vesce pourpre / trèfle d'alexandrie implantés sous une culture de colza d'hiver ont permis de faire passer de 35 à 25% la surface d'adventices au sol.

Les mélanges sont donc particulièrement intéressants pour garantir le développement du couvert. En effet, les échecs d'implantation ou de développement du couvert sont très fréquents pour les agriculteurs. Dans le Cher par exemple, où les sols sont assez séchants, seulement 60% des couverts plantés arrivent à se développer (témoignage conseiller FDGEDA du Cher). Les mélanges de couverts représentent ainsi une vraie assurance pour le bon déroulé des couverts (ITAB (S. Minette), 2012)

### 5. Couverts en relais et plante compagne : concurrencer les adventices sans concurrencer la culture de rente

Lorsque les couverts sont implantés en association avec la culture d'intérêt, le choix du couvert est essentiel pour ne pas diminuer le rendement de la culture principale.

Une méta-analyse s'est intéressée à l'utilisation de légumineuses comme plantes compagnes pour lutter contre les adventices dans plusieurs cultures (Verret et al., 2017). Comme décrit plus haut, les légumineuses sont considérées comme des plantes compagnes d'intérêt car elles sont capables de fixer le $N_2$ atmosphérique et entrent ainsi moins en compétition pour l'azote avec la culture de rente. Par exemple les pois cultivés en culture intercalaire couvrent 90 à 95% de leur besoin en azote grâce à la fixation d'azote atmosphérique. Utiliser des légumineuses comme plantes compagnes n'a pas d'impact négatif sur le rendement des cultures de rente, mais ces couverts diminuent de façon significative la population d'adventice. On observe ainsi une réduction moyenne de 56 % de la biomasse d'adventices par rapport à un témoin sans désherbage, et de 42 % par rapport à un témoin avec désherbage. L'utilisation de plantes compagnes contre les adventices semble donc intéressante à mettre en place dans des systèmes sans désherbage, tels que les systèmes bio ou à bas intrants. Les meilleurs résultats ont été observés pour des légumineuses en association avec un maïs: les rendements sont significativement supérieurs de 37% aux rendements sans désherbage.

Lorsque les couverts sont semés en relais et restent donc vivants comme plante compagne sous la culture de rente, il est important qu'ils soient détruits avant d'entrer en concurrence avec cette dernière, pour ne pas affecter le rendement. Pour les cultures d'hiver, on peut choisir d'associer un couvert gélif qui sera détruit par le froid avant que la culture de rente ne se développe, comme par exemple un couvert de légumineuses sous un colza (Cadoux et al., 2015). Cependant, en l'absence de période de gel, cela constitue un risque de réduction du rendement de colza.

## B. L'allélopathie dans les couverts vivants

L'allélopathie est l'autre mécanisme principal d'action des couverts végétaux permettant la maîtrise des adventices. Ce terme regroupe tout effet direct ou indirect, positif ou négatif, d'une plante sur un autre organisme vivant, par le biais de composés biochimiques libérés dans l'environnement (Rice, 1984). Cet effet sur les autres plantes est le plus souvent inhibiteur, il limite leur germination ou leur croissance. Les composés responsables de ces effets peuvent être libérés par volatilisation, exsudation racinaire, lessivage des feuilles ou décomposition des résidus végétaux (ITAB, 2005; Tschuy et al., 2014). Il est important de souligner que les adventices peuvent aussi avoir des effets allélopathiques, ce qui est notamment le cas de la folle avoine produisant des exsudats racinaires limitant le développement du blé (France Agricole, 2002).

Nous traiterons ici des phénomènes allélopathiques qui apparaissent durant la vie du couvert et développeront les mécanismes de décomposition dans la seconde partie du rapport. Nous rendrons compte des résultats expérimentaux par espèce ou groupes d'espèces.

### 6. Effets allélopathique des Brassicacées (crucifères) vivantes

Toutes les brassicacées contiennent des glucosinolates. Il s'agit d'une famille de molécules biochimiques composées d'un glucose, d'un groupement sulfure et d'une chaîne latérale de carbone, et leurs propriétés dépend de leur composition. Leur hydrolyse par l'enzyme *myrozinase* donne des molécules biologiquement actives comme les isothiocyanates, les nitriles. L'enzyme étant séparée des glucosinolates dans les cellules végétales, leur hydrolyse a lieu le plus souvent lorsque les cellules sont endommagées, lors de gel ou de fauche ou de broyage. (Haramoto et Gallandt, 2014). Cependant, ces couverts peuvent aussi avoir des effets allélopathiques lorsqu'ils sont vivants.

Une review de Couëdel (2017) récapitule certains effets des couverts de Brassicacées. En culture de tomate, des couverts d'interculture de moutarde blanche et de colza permettent de réduire les amarantes et les abutilons notamment via les glucosinolates. (Bangarwa et al. (2011)). En interculture avant soja, des couverts de moutarde brune, moutarde blanche et colza ont permis une réduction de 49% de la biomasse totale d'adventices 6 semaines après leur émergence (Krishnan et al. (1998)). La composition en glucosinolates des Brassicacées joue sur leur efficacité de réduction des adventices. Ainsi, l'amarante est plus affectée par la moutarde blanche et le colza alors que l'abutilon à fleurs jaunes est affectée uniquement par la moutarde blanche. Il a également été montré que l'inhibition de la croissance de l'amarante par le radis fourrager et la moutarde brune est la même avec un fort ou un faible ombrage du couvert, suggérant que les exsudats racinaires jouent un rôle important. Un essai sur la moutarde brune supprime les adventices pour au moins 91% et le radis fourrager 93% par rapport à un témoin sol nu (Gfeller et Wirth, 2017).

### 7. Effets allélopathiques du seigle vivant

Le seigle a un effet allélopathique contre des adventices comme le panic des marais (Hoffman et al., 1996) ou le chénopode (Zasada et al., 1997). Dans le cadre d'une monoculture de maïs, le seigle a aussi un effet en interculture sur les adventices suivantes : céraiste aggloméré, cardamine hirsute et véronique (Moonen et Bàrberi, 2004).

### 8. Effets allélopathiques du sarrasin vivant

Le sarrasin a également des effets allélopathiques, notamment sur l'amarante via des exsudats racinaires (Gfeller et Wirth, 2017; Tschuy et al., 2014).

### 9. Effets allélopathiques de l'avoine vivante

On note également des effets de l'avoine non seulement par la compétition mais aussi par allélopathie avant et après destruction (Husson et al., 2008).

### 10. Difficulté à distinguer les effets allélopathiques des effets de compétition

La limite principale de ces travaux est la difficulté à distinguer et séparer les facteurs de compétition pour les ressources des effets allélopathiques (Tschuy et al., 2014). Par exemple, le mélange moutarde jaune - sarrasin - colza, déjà cité plus haut, continent des brassicacées ayant potentiellement un effet allélopathique et dont la part est difficile à estimer au champ (Mirsky et al., 2010).

D'autre part, certains chercheurs font l'hypothèse d'une réponse allélopathique graduelle, selon l'intensité de la pression adventice : les défenses allélopathiques ne se déclenchent qu'en cas de forte pression adventice (Tschuy et al., 2014).

## C. Effets annexes des couverts vivants sur les adventices

### 1. Un habitat pour les auxiliaires

Le couvert, s'il est de biomasse suffisante, fournit de bonnes conditions de vie pour les auxiliaires, qui sont des prédateurs des graines d'adventices (Teasdale et al., 2007). Les carabes jouent ainsi un rôle significatif dans la diminution du stock semencier d'adventices d'une année sur l'autre (Waligora, 2016). Les espèces granivores et omnivores de carabes consomment des graines d'adventices lorsqu'elles sont arrivées à maturité et tombent au sol. Il a été estimé qu'une population de carabes en conditions idéales peut consommer jusqu'à 4000 graines d'adventices/m²/jour (Honek et al., 2003 ; Westerman et al., 2003). Chaque famille de carabe a un spectre spécifique d'espèces consommées, selon la taille et la composition des graines d'adventices. Par exemple, les carabes semblent friands des graines riches en lipides. Leur consommation va de 6 graines/jour à plus de 25 graines/jour selon l'espèce. La présence des familles trophiques de carabe varie selon les saisons, mais leur activité correspond globalement au cycle d'une majorité d'adventices annuelles. Pour préserver les populations d'auxiliaire, il est essentiel de limiter le travail du sol. Après 3 à 4 ans, sur une parcelle en semis direct sous couvert les carabes sont plus abondants qu'en labour (Waligora, 2016).

### 2. Le couvert peut devenir une adventice au cycle suivant

Les résidus de couvert peuvent repousser et devenir difficiles à gérer, en particulier dans un système en bio. C'est le cas notamment du ray gras italien. Au cours d'un essai où il était implanté en couvert d'interculture, l'effet du mulch contre les adventices n'a pas pu être évalué à cause des repousses trop importantes (Kruidhof et al., 2008)

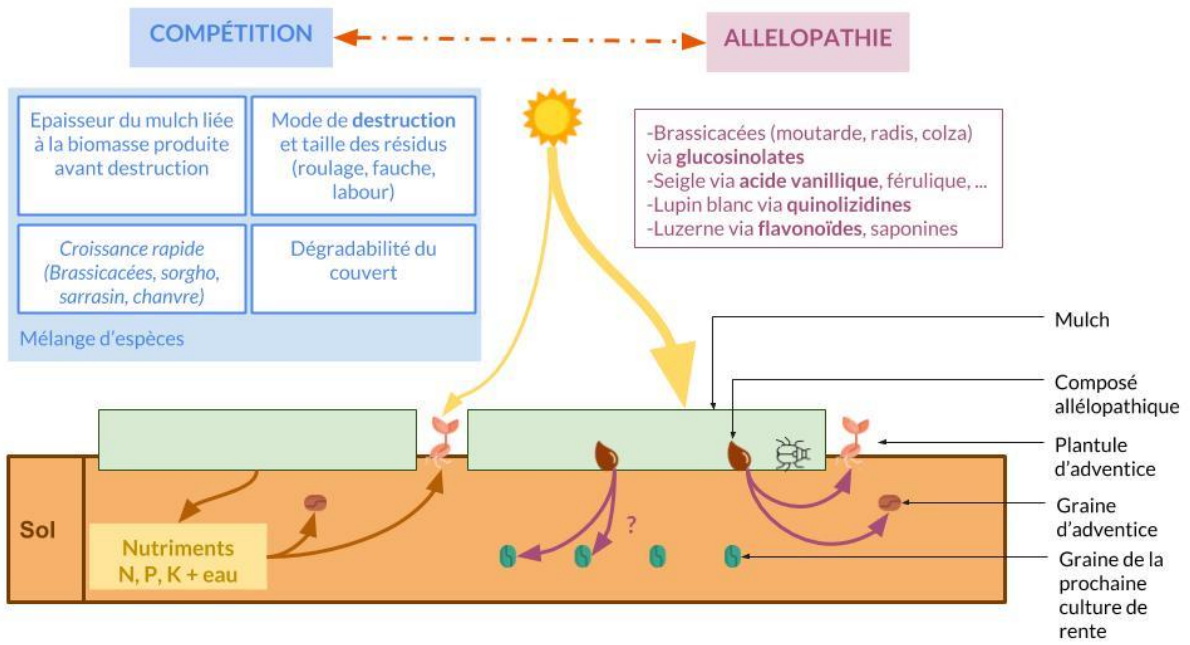
## II. Mécanismes d'action des mulchs de couverts végétaux sur les adventices

Afin de permettre l'implantation de la culture d'intérêt, le couvert d'interculture doit être détruit. Il peut être détruit par le gel pour les espèces gélives, si les conditions climatiques conviennent, ou détruit mécaniquement. Tout comme les couverts vivants, les résidus de couverts peuvent avoir un effet sur les adventices. Morts, les couverts ne permettent plus d'entrer en concurrence avec les adventices pour les ressources en nutriments, mais mobilisent d'autres mécanismes.

Les mulchs forment une barrière mécanique, limitant le développement des adventices, et modifient les propriétés physico-chimique du sol (lumière, humidité, température). La destruction du couvert permet également d'intensifier la libération dans l'environnement de substances allélopathiques (Teasdale et al., 2007). Les effets physiques contre l'émergence de mauvaises herbes et les effets allélopathiques sont souvent combinés, comme le montre l'essai de Creamer (1996) sur le mulch de trèfle incarnat.

Le schéma suivant récapitule les effets identifiés des mulchs sur les adventices.

*Figure 3 : Compétition et allélopathie des couverts morts contre les adventices*



## A. Effets mécanique et physique des mulchs sur les adventices

### 1. Une barrière mécanique dépendant de l'espèce et du mode de destruction

L'outil utilisé pour détruire le couvert (fauchage, roulage, décolletage) a une forte influence sur l'effet de barrière physique du mulch contre les adventices. Le rouleau broyeur est plus efficace que le fauchage, il permet d'obtenir des résidus plus grossiers, ainsi le mulch se dégrade moins rapidement et agit plus longtemps. Le décolletage des couverts permet d'obtenir un mulch aplati et couvrant donc offrant une bonne suppression des adventices. Les couverts à stolons demandent, eux, un travail du sol très superficiel (Creamer, 2001)

L'espèce de couvert composant le mulch fait également varier son temps de dégradation. Lorsque la dégradation est longue, l'émergence des adventices est retardée et leur développement est limité. Un mulch de vesce velue est moins efficace qu'un mulch de seigle car il est dégradé entièrement avant la fin de la saison, tandis que le seigle a encore 5% de sa biomasse de départ en fin de saison. Le mulch seigle permet de lutter sur une plus longue période contre les adventices (Wayman et al., 2015)

### 2. Le mulch intercepte la lumière

La capacité à constituer une barrière physique pour la lumière dépend fortement de l'accumulation de biomasse du couvert lors de sa phase vivante. Dans un essai, le mulch de radis fourrager n'avait aucun effet sur la levée des adventices de printemps car il restait trop peu de biomasse au moment de sa destruction (Kruidhof et al., 2008). Parmi plusieurs espèces de couverts comparés, le mulch de vesce est le plus efficace pour bloquer la lumière (Wayman et al., 2015).

Toutefois, 1% du flux de densité photosynthétique est suffisant pour induire la germination des adventices : même un mulch très épais laisse passer cette quantité de lumière. Les résidus de couverts sont ainsi moins efficaces que les couverts vivants pour intercepter la lumière. Un couvert vivant de vesce stoppe plus efficacement la lumière que sous forme de mulch. Cependant, le mulch reste un outil efficace pour retarder le développement des adventices, même si les graines d'adventices ont pu germer. Sous un mulch, les adventices à feuilles larges croissent plus facilement que les graminées (Wayman et al., 2015).

### 3. Des effets notables sur la biomasse d'adventices, évolution des communautés d'adventices

Un essai compare l'effet de plusieurs couverts en mulchs dans une culture de tomates. Après fauchage, la biomasse aérienne de la culture de couverture est placée en bandes sous forme de mulch dans lequel la tomate a été transplantée. Tous les mulchs testés (vesce velue, trèfle souterrain, avoine et un mélange vesce / avoine) ont significativement réduit la densité et la biomasse aérienne des adventices comparativement au système conventionnel (en moyenne -80 % et -35 %, respectivement). L'avoine a montré de meilleurs résultat pour la réduction des adventices, mais elle a également eu un effet négatif sur le rendement des tomates (-15 % par rapport au traitement traditionnel). Les mulchs de légumineuses, en particulier de vesce velue, ont permis d'obtenir le meilleur rendement de tomates (28% plus élevé que le système conventionnel) que ce soit avec ou sans fertilisation azotée (Campiglia et al., 2010).

Toutefois, dans ce même essai, la flore adventice a évolué en lien avec la présence du mulch. Dans les parcelles de tomates témoin sans mulch, les adventices présentes étaient majoritairement l'amarante et le chénopode, alors que dans les parcelles de tomate sur mulchs, il y avait une plus grand diversité d'adventices.

## B. Allélopathie des résidus

Pour certains couverts, les substances allélopathiques ne sont libérées qu'après la lésion des tissus végétaux, c'est à dire lors de la destruction du couvert. L'effet allélopathique est ainsi davantage exprimé lors de la décomposition des couverts en mulch. Il est souvent difficile de séparer les effets physiques des effets allélopathiques des mulchs. Pour les distinguer expérimentalement, une possibilité est l'utilisation d'un témoin mulch "inerte", comme de la sciure de peuplier par exemple (Creamer et al., 1996).

Nous rendrons compte des résultats expérimentaux par espèce ou groupes d'espèces.

### 4. Effets allélopathiques du seigle en mulch

Plusieurs molécules sont potentiellement responsables des effets allélopathiques du seigle : acide vanillique, acide férulique, acide phénylacétique, phényl-4 phénylbutyrique, p-coumarique, p-hydoxybenzoïque, salicylique, o-coumarique et salicylaldéhyde (Chou et Patrick, 1976), l'acide β-phénylacétique et l'acide β-hydroxybutyrique (Shilling et al, 1985).
Les propriétés phytotoxiques du seigle ont été observées sur certaines adventices. L'essai de Putnam et Defrank (1983) montre que des résidus de seigle ont permis de réduire de 43% l'émergence d'ambroisie, de 80 % la sétaire verte, de 95 %, l'amarante à racine rouge et de 100 % le pourpier. Un second essai montre qu'un mulch de seigle dans un système en semis direct réduit de 99% la biomasse de chénopode blanc, de 96 % celle d'amarante à racine rouge et de 92% celle d'ambroisie, comparé à un témoin sans mulch (Shilling et al ,1985). Toutefois, les deux essais n'ont pas pu déterminer la part de l'effet allélopathique dans la réduction des adventices.

Pour le seigle comme pour de nombreux autres couverts, la concentration d'éléments allélopathiques dans le peuplement végétal diminue en avançant dans son développement. C'est pourquoi il arrive qu'aucun effet allélopathique contre les adventices ne soit observé dans des paillis de seigle (Reberg-Hotrton et al., 2005)). Dans une expérimentation en interculture de triticale, l'effet allélopathique des résidus de seigle ne s'est pas exprimé (Kruidhof et al., 2008)

### 5. Effets des brassicacées en mulch, via les glucosinolates

Le mode d'action des glucosinolates en mulch est analogue à leur action dans les couverts de Brassicacées vivants : ils inhibent la germination et le développement des adventices. Les mulchs de Brassicacées ont ainsi un effet sur la densité et la vigueur des adventices dans la culture suivante (Haramoto et Gallandt, 2014). Plus précisément, les mulchs de colza réduisent jusqu'à 31% la levée des adventices de printemps grâce à l'hydrolyse des glucosinolates (Kruidhof et al., 2008)

En Lituanie, une expérimentation comparant différentes familles de couverts montre que les mulchs de moutarde blanche permettent de lutter efficacement contre les adventices d'été, réduisant l'infestation d'environ 50 à 60 % des adventices et retardant leur apparition entre

trois et quatre semaines. On peut supposer que cette efficacité particulière du mulch de moutarde est imputable à un effet allélopathique, bien que l'article n'avance pas de preuve justifiée (Masilionyte et al., 2017).

### 6. Autres effets allélopathiques

Certaines légumineuses libèrent des molécules allélopathiques lors de leur destruction. Les résidus de lupin blanc ont un effet négatif significatif sur les adventices de printemps, grâce au lessivage des quinolizidines (alcaloïdes) de la tige dans le sol. Les mulchs de luzerne ont réduit de 54% la levée des adventices de printemps grâce à la libération de saponines, flavonoïdes et acides phénoliques (Dang Xuan et al., 2003; Jr. Dornbos et al., 1990; Oleszek, 1993).

De plus, implanter de l'armoise avant la moisson du blé permet le contrôle des adventices dans la culture de maïs suivante. L'armoise annuelle produit de l'artémisinine, molécule à effet allélopathique. L'incorporation au sol de feuilles sèches d'armoise réduit jusqu'à 80 % le nombre total d'adventices, ainsi que leur biomasse. Ces phénomènes allélopathiques sont accrus en Techniques Culturales Simplifiées (France Agricole, 2002).

## III. Gestion technique des couverts pour la lutte contre les adventices

Nous avons pu décrire les bénéfices que pouvaient apporter les couverts, vivants ou morts, pour lutter contre les adventices. Ces effets bénéfiques sont très dépendants des conditions d'implantation du couvert, qui demande une gestion technique maîtrisée. L'implantation dépend d'une combinaison de facteurs dépendants des pratiques de l'agriculteur (fertilisation, semis, travail du sol...) et d'autres non prévisibles ni maîtrisables par l'agriculteur ou par les expérimentateurs. Certains expérimentateurs ont rencontré de nombreux problèmes dans l'implantation des couverts (condition trop sèches, semis trop tardifs, pression des adventices trop élevée lors du semis, prédation par les oiseaux) auxquels risquent d'être confrontés également les agriculteurs.

### A. Le travail du sol couplé aux couverts végétaux : des résultats divergents

En agriculture biologique, le travail du sol est un outil important de lutte contre les adventices. Toutefois, la réduction du travail du sol se développe, allant des techniques culturales simplifiées à l'agriculture de conservation. Nous allons voir comment ces deux modes de production peuvent s'accorder avec l'utilisation de couverts végétaux.

1. **Le faux semis**

La technique de faux semis consiste à travailler le sol avant de semer la culture principale, laisser germer les adventices, puis travailler de nouveau le sol pour détruire les adventices et préparer le véritable lit de semence. Dans le cas de l'implantation de couverts, l'agriculteur peut semer son couvert dans un sol purgé d'une partie des graines d'adventices. Toutefois, cela requiert une préparation du semis au moins un mois à l'avance et des conditions météorologiques propices à la germination des adventices, et nous développerons l'importance de ces facteurs dans les parties suivantes (Kruidhof et al., 2008).

2. **Le labour**

Le travail du sol stimule la germination des graines d'adventices de la parcelle, elles germent, puis les couverts par leur effet compétitif, empêchent l'émergence des adventices germées (Mirsky et al., 2010). Dans un essai de couverts en monoculture de maïs, il a été montré qu'après 7 ans, les modalités sans travail du sol avaient une densité en graines d'adventices 5 fois supérieures à celles avec labour (Moonen et Bàrberi, 2004). Il est également important de faire coïncider le travail du sol avec la période d'émergence des adventices pour un contrôle plus efficace (J. Crawley, 2004).

3. **Implanter le couvert sans travail du sol pour limiter le développement d'adventices**

Les agriculteurs partent du constat que la levée des adventices est stimulée par un travail du sol en faisant remonter les graines à la surface des sols. Des essais menés par le GABB 32 comparant le semis direct et les techniques culturales simplifiées ne sont pas parvenus à trancher à ce sujet. Cela peut s'expliquer par les variations des conditions pédoclimatiques entre autres(GABB32, 2016) .

La réduction du travail du sol permet aussi de préserver l'habitat des auxiliaires de culture et notamment des carabes dont le rôle dans la lutte contre les adventices a été détaillé plus haut. Réduire le travail du sol permet également de réduire les charges et le temps de travail.

## B. Date d'implantation du couvert et précocité

Dans un essai aux État Unis, il apparaît que semer tôt et détruire tard le couvert permet de maximiser la biomasse et donc d'accroître l'effet compétitif sur les adventices. Le choix de cette précocité constitue une stratégie d'évitement puisque le développement du couvert ne se fait pas en même temps que celui des adventices. Il faut cependant ne pas trop retarder la destruction du couvert, pour éviter qu'il ne monte en graine et ne salisse la parcelle pour la culture suivante (Mirsky et al., 2017).

Modifier les dates de semis influence aussi le mode de destruction des couverts. En effet, dans le Gers, en AB, une féverole semée tôt (septembre) est détruite par le gel en février. Par contre si elle est semée tard (octobre), elle est détruite mécaniquement en mars-avril (GABB32, 2013).

Par ailleurs, doubler la densité de semis ne permet pas forcément d'améliorer la lutte contre les adventices. En effet, augmenter la densité de semis ne permet pas d'augmenter la biomasse notamment à cause de la compétition intra-spécifique. C'est pourquoi cela n'a pas

d'effet négatif notable contre les adventices pendant la croissance du couvert (Kruidhof et al., 2008).

Toutefois, les agriculteurs n'ont pas toujours la possibilité d'implanter précocement des couverts en particulier à cause des contraintes climatiques.

## C. Effet de la fertilisation

Pour favoriser le développement du couvert, il est possible de jouer sur la dose, le timing mais aussi le type d'engrais apporté (organique ou minéral). Les références diffèrent selon que le système soit mené en agriculture conventionnelle ou biologique. Les apports d'azote minéral étant proscrits en agriculture biologique, il faut donc apporter une fertilisation autrement, sans pour autant favoriser le développement des adventices.

### 1. Raisonner la fertilisation en début de cycle

Un fort apport d'azote en début de croissance du couvert lui permettra d'accumuler beaucoup de biomasse et d'être compétitif face aux adventices. Cependant il faut que l'application soit contrôlée en temps et quantité pour qu'elle soit utilisée par le couvert et non par les adventices. Une fertilisation trop importante en début de cycle peut favoriser le développement des adventices, qui utilisent plus efficacement les nutriments disponibles que les cultures. Le problème inverse est également à considérer. Avec un trop faible niveau de fertilisation, certaines espèces d'adventices moins exigeantes que les cultures peuvent tirer profit de la situation pour se développer aux dépends de la culture. La fertilisation des couverts est alors à raisonner au cas par cas, en observant le type d'adventices présents dans la parcelle et en connaissant les besoins du couvert en azote (Moonen et Bàrberi, 2004).

Pour des couverts de brassicacées, la fertilisation azotée et phosphatée permet d'augmenter la biomasse de couvert ainsi que la production de glucosinolates. Avec 60 kg par hectare de $P_2O_5$ et une forte dose d'azote (132 kg/ha) le taux de glucosinolates a augmenté de 26 % pour certaines espèces de brassicacées. Au cours de la croissance des brassicacées la concentration en glucosinolates varie. Elle diminue durant la germination et lors de la croissance de la plantule. La quantité globale (concentration * biomasse) de glucosinolates est maximale juste avant la floraison. Il est donc nécessaire de gérer le compromis entre biomasse et concentration en glucosinolates (Haramoto et Gallandt, 2014).

### 2. Jouer sur la disponibilité de l'azote dans le sol

En plus de la dose apportée, le type d'azote apporté influence également l'apparition d'adventices. Dyck et Kearns (1995) ont montré qu'appliquer de l'azote minéral, qui est alors directement disponible dans les sols, favorise le développement de certaines adventices tandis qu'un mulch de couvert, comme le trèfle incarnat, ne prodigue pas cet effet. Par exemple la croissance de la véronique est stimulée par l'azote minéral, mais pas par l'azote organique disponible grâce au mulch de trèfle (Moonen et Bàrberi, 2004). Notons que ces références ont été établies en agriculture conventionnelle mais ne représenteraient pas un inconvénient en agriculture biologique, où les engrais minéraux ne sont pas autorisés.

Lors de l'utilisation de mulch, la décomposition du couvert change le rapport C/N et rend l'azote moins disponible pour la culture d'intérêt. Il est donc intéressant d'utiliser un couvert comprenant des légumineuses. Cependant, cela ne se traduit pas toujours par des niveaux

élevés d'azote disponible dans le sol. Utiliser un mélange d'espèce peut permettre une plus grande libération d'azote, comme par exemple un mélange d'orge et de vesce (Wayman et al., 2015). Il est important d'évaluer la teneur en azote disponible dans le sol suite à la décomposition du mulch.

Par ailleurs, la fertilisation du couvert est une pratique qui est peu répandue chez les agriculteurs car elle représente une charge financière non négligeable.

### D. Les conditions pédo-climatiques sont déterminantes pour la réussite du couvert

Malgré des choix pertinents d'espèces de couvert utilisées, de fertilisation et de techniques culturales, le développement et l'efficacité du couvert sont très dépendants des conditions pédoclimatiques de ses parcelles.

La réussite d'un couvert est assurée lorsqu'il fait suite à un été assez pluvieux ou des pluies fréquentes. Par exemple dans le Gers les couverts estivaux implantés en juillet-août après moisson réussissent si l'été est pluvieux. Cette humidité nécessaire à une croissance rapide et efficace du couvert peut être conservée dans le sol via du paillage ou un non travail du sol (GABB32, 2013)

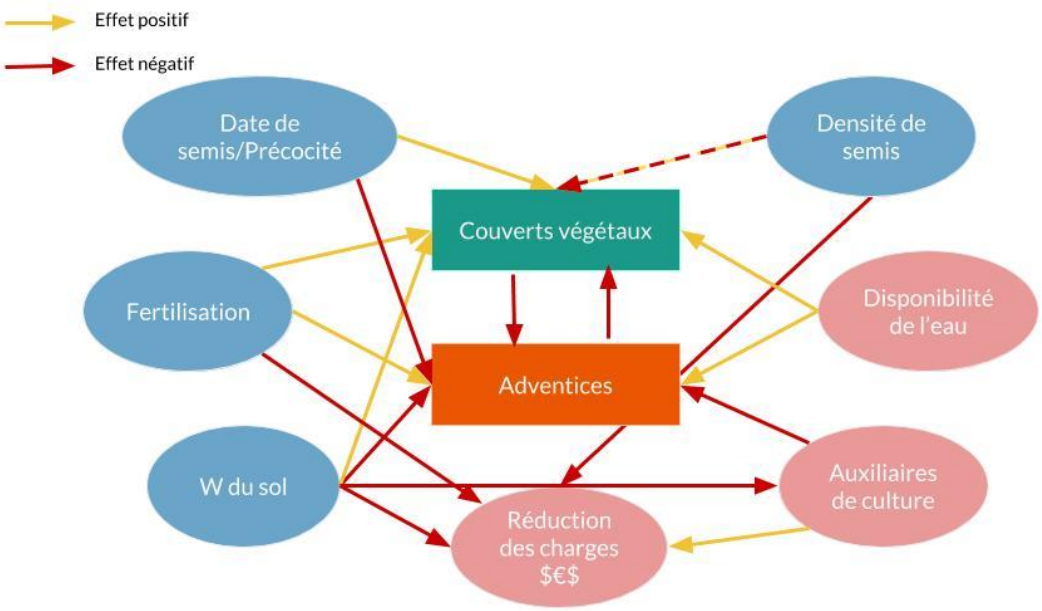
Avec les variations climatiques, les choix de couverts sont amenés à changer pour trouver des espèces adaptées à chaque région. Par exemple dans le Gers l'avoine ne gèle plus tous les ans et est difficile à détruire mécaniquement, c'est pourquoi elle est progressivement abandonnée. Des verrous climatiques et techniques amènent à changer les pratiques de couverts des agriculteurs (GABB32, 2013).

Parmi l'ensemble des articles que nous avons consultés, les résultats sont très variables d'une année sur l'autre. Cette variabilité est corrélée aux variabilités climatiques, un levier sur lequel l'agriculteur ne peut pas agir et qui conditionne la réussite du couvert.

Les contraintes pédo-climatiques restent la principale contrainte au bon développement du couvert. Un des enjeux pour développer plus largement l'utilisation des couverts serait d'utiliser des espèces et des variétés plus tolérantes aux conditions défavorables de croissance, comme la sécheresse et les sols compactés. Ceci permettrait notamment de faciliter l'implantation des couverts en interculture courte. Une pratique encore peu utilisée, car le couvert a rarement le temps de développer tout son potentiel et perd donc son intérêt.

Le schéma ci-dessous récapitule les différentes interactions entre les outils mobilisables par l'agriculteur (en bleu), les facteurs sur lesquels il n'a pas d'impact (en rose) et l'utilisation de couverts contre les adventices.

*Figure 4 : Leviers techniques de gestion des couverts*




## Conclusion

Les agriculteurs raisonnent leur utilisation des couverts selon plusieurs objectifs, et n'utilisent pas les couverts spécifiquement contre les adventices. Dans la majorité des cas ils les utilisent pour répondre à la réglementation, ou pour fournir un apport azoté à leur culture de rente. Les mélanges variétaux permettent de maximiser les services rendus par les couverts et ils se développent de plus en plus. Il serait judicieux d'intégrer les critères de lutte contre les adventices aux différents outils d'aide à la décision.

L'implantation de couvert pour la lutte contre les adventices est difficile à découpler des questions sur le travail du sol. La réussite d'un couvert est très liée au contexte de l'exploitation. Il est nécessaire de raisonner l'utilisation d'un couvert à l'échelle du système de culture dans lequel il s'intègre. Pour qu'un couvert soit efficace contre les adventices, de nombreuses décisions sont à prendre : associations d'espèces, dates de semis… D'autre part, dans les systèmes en bio, les couverts sont essentiellement utilisés en interculture, et pas en association sous les cultures.

Il est compliqué de savoir pour une sorte de couvert, si son efficacité contre les adventices provient des effets allélopathiques ou des effets de compétition. D'autant plus que les effets allélopathiques sont difficilement quantifiés.

# BIBLIOGRAPHIE


Baraibar, B., Hunter, M.C., Schipanski, M.E., Hamilton, A., Mortensen, D.A., 2017. Weed Suppression in Cover Crop Monocultures and Mixtures 1-13. https://doi.org/10.1017/wsc.2017.59

Barberi, P., Mazzoncini, M., 2001. Changes in weed community composition as influenced by cover crop and management system in continuous corn. Weed Sci. 49, 491-499. https://doi.org/10.1614/0043-1745(2001)049[0491:ciwcca]2.0.co;2

Brust, J., Claupein, W., Gerhards, R., 2014. Growth and weed suppression ability of common and new cover crops in Germany. Crop Prot. 63, 1-8. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2014.04.022

Cadoux, S., Sauzet, G., Valantin-Morison, M., Pontet, C., Champolivier, L., Robert, C., Lieven, J., Flénet, F., Mangenot, O., Fauvin, P., Landé, N., 2015. Intercropping frost-sensitive legume crops with winter oilseed rape reduces weed competition, insect damage, and improves nitrogen use efficiency. OCL 22, D302. https://doi.org/10.1051/ocl/2015014

Campiglia, E., Mancinelli, R., Radicetti, E., Caporali, F., 2010. Effect of cover crops and mulches on weed control and nitrogen fertilization in tomato (Lycopersicon esculentum Mill.). Crop Prot. 29, 354-363. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2009.12.001

Chou, C.-H., Patrick, Z.A., 1976. Identification and phytotoxic activity of compounds produced during decomposition of corn and rye residues in soil. J. Chem. Ecol. 2, 369-387. https://doi.org/10.1007/BF00988283

Couëdel, A., Seassau, C., Wirth, J., Alletto, L., 2017. Potentiels de régulation biotique par allélopathie et biofumigation ; services et dis-services produits par les cultures intermédiaires multiservices de crucifères. Innov. Agron. 62, 71-85.

Creamer, N.G., 2001. Killing cover crops mechanically, review.pdf. Am. J. Agric.

Creamer, N.G., Bennett, M.A., Stinner, B.R., Cardina, J., Regnier, E.E., 1996. Mechanisms of weed suppression in cover crop-based production systems. HortScience 31, 410-413.

Dang Xuan, T., Tsuzuki, E., Terao, H., Matsuo, M., Khanh, T., 2003. Identification of potential allelochemicals from Kava (Piper methysticum L.) root, Allelopathy Journal.

Dyck, I., Kearns, R., 1995. Transforming the relations of research: towards culturally safe geographies of health and healing. Health Place 1, 137-147. https://doi.org/10.1016/1353-8292(95)00020-M

France Agricole, 2002. Allélopathie : vers une utilisation du phénomène au champ [WWW Document]. La Fr. Agric. URL http://www.lafranceagricole.fr/article/allelopathie-vers-une-utilisation-du-phenomene-au-champ-1,0,70932399.html (consulté le 2.26.19).

GABB32, 2016. Essai incidence d ' un semis direct d ' un couvert végétal sur la quantité de graminées et crucifères adventices dans ce couvert.

GABB32, A.P., 2013. Couverts : observations de trois années de pratiques dans le Gers 1-3.

Gfeller, A., Wirth, J., 2017. Les Cultures intermédiaires allélopathiques: un moyen de lutte contre les adventices ? Innov. Agron. 62, 17-32.

Haramoto, E.R., Gallandt, E.R., 2014. Brassica cover cropping for weed management : A review. https://doi.org/10.1079/RAFS200490

Husson, O., Charpentier, H., Razanamparany, C., Moussa, N., Michellon, R., Naudin, K., Razafintsalama, H., Rakotoarinivo, C., Rakotondramanana, Séguy, L., 2008. Les plantes de couverture [WWW Document]. Man. Prat. du semis direct à Madagascar, Vol. III. Fiches Tech. plantes Couv. Légumineuses pérennes. URL http://agroecologie.cirad.fr

ITAB (H. Leplatois), 2005. Les engrais verts en maraîchage biologique Importance et rôles.

ITAB (S. Minette), 2012. Choisir et réussir son couvert végétal pendant l'interculture en AB.

J. Crawley, M., 2004. Timing of disturbance and coexistence in species-rich ruderal plant community, Ecology. https://doi.org/10.1890/03-0804

Jr. Dornbos, D.L., Jr G.F., S., W. Miller, R., 1990. Medicarpin Delays Alfalfa Seed Germination and Seedling Growth, Crop Sci. https://doi.org/10.2135/cropsci1990.0011183X003000010035x

Kruidhof, H.M., Bastiaans, L., Kropff, M.J., 2008. Ecological Weed Management By Cover Cropping: Effect on Winter Weeds and Summer Weeds Establishment in Potato. Weed Res. 492-502.

Masilionyte, L., Maiksteniene, S., Kriauciuniene, Z., Jablonskyte-Rasce, D., Zou, L., Sarauskis, E., 2017. Effect of cover crops in smothering weeds and volunteer plants in alternative farming systems. Crop Prot. 91, 74-81. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2016.09.016

Mirsky, S.B., Ackroyd, V.J., Cordeau, S., Curran, W.S., Hashemi, M., Reberg-Horton, S.C., Ryan, M.R., Spargo, J.T., 2017. Hairy vetch biomass across the eastern united states: Effects of latitude, seeding rate and date, and termination timing. Agron. J. 109, 1510-1519. https://doi.org/10.2134/agronj2016.09.0556

Mirsky, S.B., Gallandt, E.R., Mortensen, D.A., Curran, W.S., ShumwaY, D.L., 2010. Reducing the germinable weed seedbank with soil disturbance and cover crops. Weed Res. 50, 341-352. https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.2010.00792.x

Moonen, A.C., Bàrberi, P., 2004. Size and composition of the weed seedbank after 7 years of different cover-crop-maize management systems. Weed Res. 44, 163-177. https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.2004.00388.x

Oleszek, W., 1993. Allelopathic potentials of alfalfa (Medicago sativa) saponins: Their relation to antifungal and hemolytic activities, Journal of chemical ecology. https://doi.org/10.1007/BF00987369

R. Putnam, A., Defrank, J., 1983. Use of phytotoxic plant residues for selective weed control, Crop Protection. https://doi.org/10.1016/0261-2194(83)90042-X

REBERG-HORTON, S.C., BURTON, J.D., DANEHOWER, D.A., MA, G., MONKS, D.W., MURPHY, J.P., RANELLS, N.N., WILLIAMSON, J.D., CREAMER, N.G., 2005. CHANGES OVER TIME IN THE ALLELOCHEMICAL CONTENT OF TEN CULTIVARS OF RYE (Secale cereale L.). J. Chem. Ecol. 31, 179-193. https://doi.org/10.1007/s10886-005-0983-3

Rice, E.L., 1984. Allelopathy, Academic P. ed.

Swanton, C.J., Booth, B.D., 2004. Management of Weed Seedbanks in the Context of Populations and Communities. Weed Technol. 18, 1496-1502. https://doi.org/10.1614/0890-037X(2004)018

Teasdale, J.R., Brandsaeter, L.O., Calegari, A., Skora Neto, F., 2007. Cover crops and weed management, Non-Chemical Weed Management: Principles, Concepts and Technology.

Teasdale, J.R., Mohler, C.L., 1993. Light Transmittance, Soil Temperature, and Soil Moisture under Residue of Hairy Vetch and Rye. Agron. J. 85, 673-680. https://doi.org/10.2134/agronj1993.00021962008500030029x

Tschuy, F., Gfeller, A., Azevedo, R., Khamisse, C., Henriet, L., Wirth, J., 2014. Suppression des adventices par les couverts végétaux : différents facteurs analysés -. Rech. Agron. Suisse 5, 292-299.

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. F. Crop. Res. 204, 158-168. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.01.010

Waligora, C., 2016. ET SI LES CARABES POUVAIENT CONTRÔLER LE SALISSEMENT ? Agron. ÉCOLOGIE Innov. TCS 87.

Wang, G., McGiffen, M.E., Ehlers, J.D., Marchi, E.C.S., 2006. Competitive ability of cowpea genotypes with different growth habit. Weed Sci. 54, 775-782. https://doi.org/10.1614/WS-06-011R.1

Wayman, S., Cogger, C., Benedict, C., Collins, D., Burke, I., Bary, A., 2015. Cover Crop Effects on Light, Nitrogen, and Weeds in Organic Reduced Tillage. Agroecol. Sustain. Food Syst. 39, 647-665. https://doi.org/10.1080/21683565.2015.1018398

# ANNEXES

## Annexe 1 : Tableau récapitulatif de l'effet des couverts vivants contre les adventices

| Couvert (espèces seules ou mélanges) | Adventices visées | Culture de rente | Implantation du couvert (interculture longue, courte, en relais, …) | Réduction quantitative (ou qualitative) de la biomasse d'adventice | Auteurs | Année |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Colza | Amarante et abutilon | Tomate | Interculture | 96% | Bangarwa et al. | 2011 |
| -Sorgho fourrager, -Brassicacées, -Sarrasin, -Chanvre | | | | +++ | *Les engrais verts en maraîchage biologique de l'ITAB* | |
| -Moutarde brune -Moutarde blanche -Colza | Toutes adventices | Soja | Interculture | 49 % | Krishnan et al. | 1998 |
| Avoine | | Tomate | | 93% | E. Campiglia | 2016 |
| Vesce | | | | 34-94% | Mischler et al () : | 2010 |
| Trèfle incarnat | | Maïs | | 22-46% | Barberi et al | 2001 |
| Seigle | | Maïs | | 54-99% | Barberi et al | 2001 |
| Trèfle souterrain | | Maïs | | 22-67% | Barberi et al | 2001 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Moutarde blanche | | | | 59% | Jochen Brust et al | 2014 |
| Radis oléagineux | | | | 66% | Jochen Brust et al | 2014 |
| Phacélie | | | | 77% | Jochen Brust et al | 2014 |
| Sorgho | Amarante | | | 99% | Frédéric Tschuy et al | 2014 |
| Moutarde | Amarante | | | 99% | Frédéric Tschuy et al | 2014 |
| Sarrasin | Amarante | | | 99% | Frédéric Tschuy et al | 2014 |
| Lentille / Féverole | | Colza | Compagne | 10 % | Cadoux et al | 2015 |
| Lentille / Fenugrec / Gesse | | Colza | Compagne | 10 % | Cadoux et al | 2015 |
| Vesce / Vesce pourpre / Trèfle d'Alexandrie | | Colza | Compagne | 10 % | Cadoux et al | 2015 |
| Trèfle rouge / pois autrichien / seigle / radis fourrager / colz | | Maïs-Soja-Blé | Interculture longue et courte | 71-90% | Baraibar et al | 2017 |
| Moutarde blanche | | Blé d'hiver-Pois-Orge | | 15-37% | Masilionyte et al | 2016 |
| Moutarde blanche / sarrasin | | Blé d'hiver-Pois-Orge | | 55-59% | Masilionyte et al | 2016 |
| Moutarde jaune / Sarrasin / Colza | Chénopode blanc-Abutilon | | Interculture | 80-85% | Mirsky et al | 2010 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Moutarde brune | | | | 91% | A.Gfeller et al | 2017 |
| Radis fourrager | | | Interculture | 93% | A.Gfeller et al | 2017 |
| Seigle | Panic des marais - Chénopode - Céraiste agglomérée - Cardamine Hirsute - Véronique | | | ++ | Moonen, Barberi et al | 2004 |
| Sarrasin | Amarante | | | ++ | F. Tschuy et al | 2014 |
| Avoine | | | | ++ | O. Husson et al | 2010 |
| -Colza<br>-Seigle<br>-Radis oléagineux | Chénopode | Triticale | Interculture | 70% | Kruidhof et al. | 2008 |

## Annexe 2 : Tableau récapitulatif de l'effet des mulchs contre les adventices

| Couvert (espèces seules ou mélanges) | Adventices visées | Réduction quantitative/qualitative de biomasse d'adventice | Auteurs | Année |
|---|---|---|---|---|
| -Orge<br>-Seigle | Sétaire | 81 à 90% | N. Creamer et al | 1996 |
| -Seigle,<br>-Trèfle pourpre,<br>-Vesce velue,<br>-Orge<br>-Un mélange des quatre | Morelle noire orientale | | N. Creamer et al | 1996 |
| Trèfle incarnat | Morelle noire orientale | 100% | N. Creamer et al | 1996 |
| Seigle | Ambroise,<br>Sétaire verte,<br>Amarante,<br>Pourpier commun,<br>Chénopode | Ambroise : 43 %<br>Sétaire verte : 80 %,<br>Amarante : 60-95 %<br>Pourpier commun : 100 %<br>Chénopode:20- 99% | N. Creamer et al | 1996 |
| -Radis fourrager<br>-Colza oléagineux d'hiver<br>-Seigle d'hiver | Chénopode | >70% | Kruidhof et al | 2008 |
| -Luzerne<br>-Colza d'hiver<br>-Colza de printemps<br>-Seigle d'hiver | | Luzerne :79%<br>Colza d'hiver : 98%<br>Colza de printemps : 73-85%<br>seigle :98% | Kruidhof et al | 2008 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| -Avoine<br>-Vesce velue-avoine | Ivraie | | E. Campiglia et al | 2009 |
| Seigle | Ambroisie, Sétaire, Amarante, Pourpier, Chénopode | 43-92%<br>80%<br>95%<br>100%<br>99% | Putnam et DeFrank<br>Shilling et al | 1983<br>1985 |
| Colza | | 31% | Kruidhof et al | 2008 |
| Moutarde blanche | Adventices d'été | 50-60% | Masilionyte et al | 2016 |
| Luzerne | Adventices de printemps | 54% | Kruidhof et al | 2008 |
| Lupin blanc | | ++ | Kruidhof et al | 2008 |
| Armoise | | 80% | Allélopathie: vers une utilisation du phénomène au champ - France Agricole n°2941 de 2002 | 2002 |