



HAL
open science

Les Cultures intermédiaires allélopathiques: un moyen de lutte contre les adventices ?

Aurélie Gfeller, Judith Wirth

► **To cite this version:**

Aurélie Gfeller, Judith Wirth. Les Cultures intermédiaires allélopathiques: un moyen de lutte contre les adventices ?. Innovations Agronomiques, 2017, 62, pp.33-41. hal-04477543

HAL Id: hal-04477543

<https://hal.inrae.fr/hal-04477543v1>

Submitted on 26 Feb 2024

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

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



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

Les Cultures intermédiaires allélopathiques: un moyen de lutte contre les adventices ?

Gfeller A.¹, Wirth J.¹

¹ Agroscope, Systèmes de production plantes, Malherbologie grandes cultures et viticulture, 50 Route de Duillier, CH-1260 Nyon 1

Correspondance : judith.wirth@agroscope.admin.ch

Résumé

Les cultures intermédiaires allélopathiques soulèvent un grand intérêt chez les agriculteurs en tant que technique de désherbage écologique. L'impact de l'allélopathie par les cultures intermédiaires au champ est méconnu. Toutefois, nos résultats suggèrent que l'allélopathie est un facteur à considérer. A contrario des idées reçues, le développement d'une biomasse aérienne importante, créant un fort ombrage, n'est pas toujours le facteur principal de suppression des adventices. En effet, l'inhibition de la croissance de l'amarante par le sarrasin, 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. Notre approche expérimentale combine des essais au champ et une approche métabolomique.

Mots-clés : Cultures intermédiaires, Suppression des adventices, Allélopathie, Sarrasin, Radis fourrager, Moutarde brune

Abstract: Allelopathic cover crops: an efficient way to control weeds?

Allelopathic cover crops for ecological weed management are of great interest for farmers. Little is known about the impact of allelopathy in the field. However, our results suggest that allelopathy is a factor that should be considered. Contrary to general opinion, the development of a large aboveground biomass, which creates strong shading, is not always the main factor responsible for weed suppression. In fact, amaranth growth suppression by buckwheat, forage radish and brown mustard is the same under high and low shading conditions, suggesting that root exudates play an important role. Our experimental approach combines field trials and a metabolomic approach.

Keywords: Cover crops, Weed suppression, Allelopathy, Buckwheat, Forage radish, Brown mustard

1. La maîtrise des adventices par les cultures intermédiaires

Les cultures intermédiaires (CI) apportent beaucoup de bénéfices, dont la maîtrise des adventices. La réduction des adventices par les CI peut être expliquée par l'action de différents facteurs : i. compétition pour la lumière, l'eau, l'espace et les nutriments (Bezuidenhout et al., 2012 ; Kunz et al., 2016). ii. la libération des substances allélopathiques. Les substances allélopathiques peuvent être libérées :

1. par les couverts vivants pendant l'interculture et/ou
2. par les résidus libérés dans la culture suivante suite à la destruction de la CI (par le gel, mécaniquement, par un herbicide) (Farooq et al., 2011 ; Kunz et al., 2016).

Notre approche consiste à comprendre comment certaines CI suppriment les adventices pendant l'interculture et si l'allélopathie joue un rôle important dans la maîtrise des adventices par des CI au champ.

2. L'allélopathie, c'est quoi ?

L'allélopathie est définie comme tout effet direct ou indirect, positif ou négatif, d'une plante sur une autre, par le biais de composés biochimiques libérés dans l'environnement (Rice, 1984). Un des exemples classiques, qui d'ailleurs avait déjà été observé par Pline l'ancien au premier siècle avant J.C., est l'action inhibitrice qu'exerce le noyer sur différentes plantes herbacées ou ligneuses. Lorsque les feuilles et tiges de noyer sont lessivées par la pluie, la juglone, un allélochimique très toxique, est libérée et inhibe la germination des graines avoisinantes.

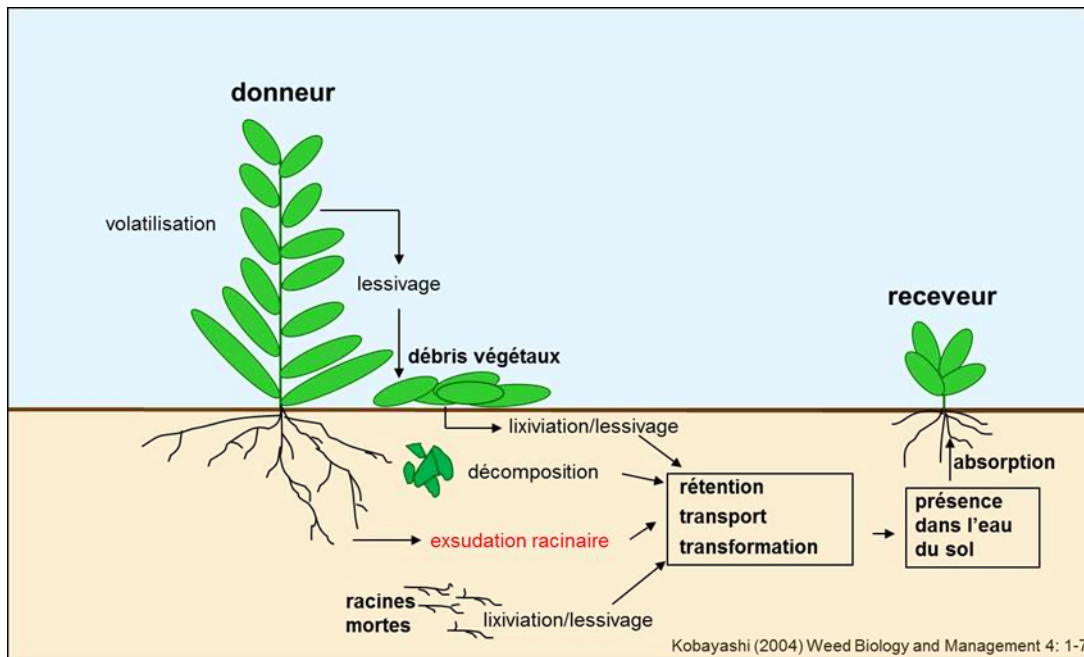


Figure 1: Voies possibles pour la libération des allélochimiques dans l'environnement par une plante donneuse selon Kobayashi (2004).

Ainsi l'effet de l'allélopathie est le plus souvent décrit comme un effet inhibiteur de la germination ou croissance exercé par une plante (donneuse) sur une autre plante (receveuse). Les **substances allélochimiques** sont en général des métabolites végétaux secondaires et appartiennent à plusieurs familles chimiques comme des dérivés benzéniques (p. ex. sorgoleone du sorgho), des phénoliques (p.ex. acide vanillique), des acides hydroxamiques (p.ex. DIMBOA du seigle) ou des terpenes (Latif et al., 2016 ; Massalha et al., 2017). Ils sont libérés par volatilisation, lessivage, lixiviation, décomposition des résidus ou exsudation racinaires (Figure 1).

Pour mettre en évidence le phénomène d'allélopathie, la plupart des essais sont effectués en laboratoire ou en serre en conditions contrôlées. De nombreuses études utilisent des méthodes d'extraction à l'eau ou à l'éthanol des parties aériennes et/ou des racines pour des tests de germination avec des graines de cresson ou de laitue par exemple (Kalinova et Vrhotova, 2009). En conditions naturelles, l'étude est plus complexe car les interactions biotiques et abiotiques du sol peuvent influencer la présence des composés allélopathiques. De plus, de nombreux facteurs, comme les conditions environnementales ou l'état phytosanitaire de la plante, influencent la synthèse et la libération de ces molécules (Figure 2). La grande difficulté est de séparer la compétition pour les ressources des effets allélopathiques, car l'allélopathie dans le champ est subtile et il est compliqué de la distinguer de la compétition (Duke, 2015). En général des allélochimiques sont des molécules **phytotoxiques**, qui exercent leurs effets à des quantités faibles, mais constantes ou des concentrations croissantes sur des longues périodes (Duke, 2015). L'effet allélopathique peut être dû à un composé allélochimique ou à un mélange de molécules. Une fois libérés dans le sol, les propriétés

physiques, chimiques et biologiques des allélochimiques changent (Latif et al., 2016). En plus, les composés peuvent être transformés et dégradés par les microbes du sol (Massalha et al., 2017). Pour la pratique agricole ceci indique que l'effet allélopathique d'une CI ne sera très probablement jamais aussi fiable qu'un herbicide.

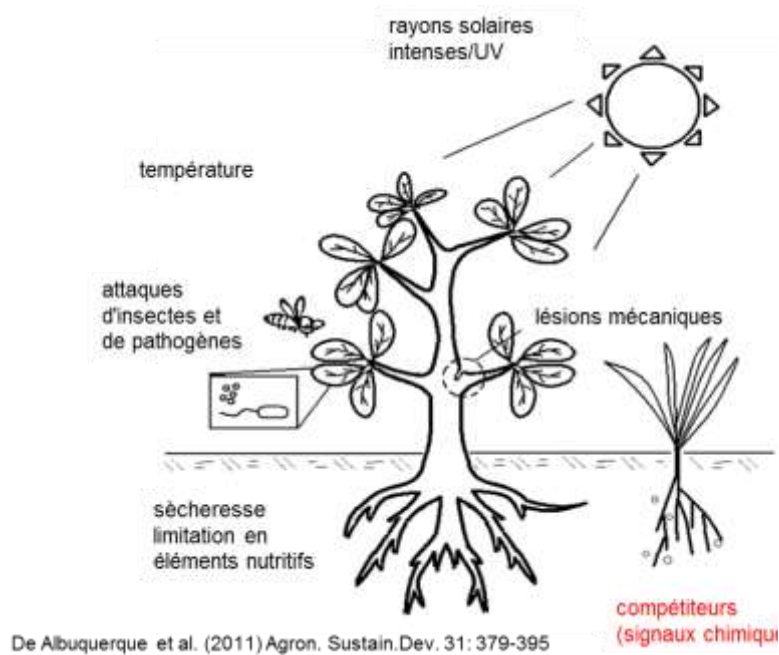


Figure 2 : Induction de la production des allélochimiques par des facteurs biotique et abiotique selon De Albuquerque et al. (2011).

3. Des cultures « allélopathiques »

3.1 Grandes cultures

Chez plusieurs grandes cultures, des effets allélopathiques sont connus (Jabran et al., 2015). Quelques allélochimiques responsables pour les effets observés ont été identifiés comme les momilactones A et B chez le riz, le DIMBOA chez le seigle et le blé, la sorgoleone chez le sorgho et des composés phénoliques chez le tournesol. Pour toutes ces cultures les effets allélopathiques sont très variables selon le cultivar (Jabran et al., 2015). Un cultivar allélopathique qui supprime bien les adventices doit également produire des bons rendements et ne pas avoir d'impact négatif sur la culture suivante. En effet, la production d'allélochimiques peut générer des phénomènes d'autotoxicité, comme chez l'orge (Bouhaouel et al., 2015). La sélection d'un cultivar allélopathique est donc un long processus et demande beaucoup de travail. Actuellement le premier et seul cultivar allélopathique commercialisé est le cultivar de riz Haugan-3 en Chine (Jabran et al., 2015 ; Kong et al., 2011).

3.2 Cultures intermédiaires

Contrairement aux grandes cultures mentionnées ci-dessus les connaissances sur les effets allélopathiques des CI sont beaucoup plus faibles pour plusieurs raisons.

3.2.1 Métabolome

Dans l'état actuel des connaissances, la nature des molécules n'est pas toujours connue, ce qui implique la nécessité d'une approche métabolomique très large et donc coûteuse et compliquée.

3.2.2 Génome

Une connaissance plus approfondie du génome des CI permettrait pour la recherche fondamentale de mieux comprendre les gènes et mécanismes impliqués dans l'allélopathie et profiterait ultérieurement à

la recherche agronomique appliquée. Chez le blé, des locus qui sont liés à des traits allélopathiques ont été identifiés (Zuo et al., 2012).

3.2.3 Cultivars

De nombreux CI, comme la phacélie, existent encore en tant que population et souvent, le nom du cultivar n'est pas connu lorsque l'on achète les semences d'une CI dans le commerce Suisse. Nous avons été surpris de remarquer des différences marquées de phénotypes entre des lots de sarrasin soi-disant de la même variété. Nous pensons que le travail de sélection et distribution des CI est donc très en retard par rapport à celui réalisé sur les cultures principales comme le blé.

De plus les cultivars d'une même CI sont rarement comparés pour leur effet sur le contrôle des adventices. La plupart des études scientifiques qui étudient le potentiel allélopathique des CI travaille avec un seul cultivar. Nous pouvons citer pour exemple les études réalisées sur le radis fourrager. Nous, ainsi que Lawley et al. (2012), avons travaillé avec *Raphanus sativus* var. *longipinnatus*, tandis que Kunz et al. (2016) ont travaillé avec *Raphanus sativus* var. *niger*. Est-ce que ces résultats peuvent être comparés? Autant de différences entre les cultivars des CI par rapport à leurs effets allélopathiques sont susceptibles d'exister qu'entre les cultivars des grandes cultures. Bertholdsson (2004) a montré que les cultivars d'orge apparus les 100 dernières années au Danemark et en Finlande ont perdu de leur activité allélopathique, suggérant une dilution des gènes contribuant au potentiel allélopathique par les techniques de sélection. La sélection de cultures intermédiaires allélopathiques offre l'avantage de pouvoir s'affranchir de la nécessité de sélectionner ces variétés aussi pour leur rendement. Toutefois les traits liés aux autres services rendus par les CI devraient si possibles être conservés.

Des nombreuses CI sont décrits comme allélopathiques dans les articles de vulgarisation et sur internet, comme par exemple sur les pages d'Agro-PEPS :

http://agropeps.clermont.cemagref.fr/mw/index.php/Planter_des_cultures_intermediaires_%C3%A9diaires_%C3%A0_effet_all%C3%A9lopathique_ou_biocide_biofumigation

Pourtant, les sources ne sont pas citées et lorsque la recherche est approfondie, ces informations relèvent plus d'une appréciation que d'une base scientifique. Peu d'études montrent l'effet inhibiteur de différents CI sur la croissance des adventices dans des expériences au champ et en laboratoire (Jabran et al., 2015 ; Kunz et al., 2016). À notre connaissance l'effet allélopathique exercé par les CI vivantes pendant l'interculture au champ n'a pas encore été prouvé. Notre expérience et nos connaissances bibliographiques indiquent que les CI qui montrent un bon potentiel allélopathique sont des céréales, des brassicacées et le sarrasin, toutefois nous ne sommes pas exhaustifs dans cette liste. Le pouvoir allélopathique des légumineuses est difficile à prouver par le fait qu'elle apporte des avantages compétitifs aux plantes voisines via la fixation de l'azote qui masquerait l'effet allélopathique, s'il en existe un chez les légumineuses.

4. Notre projet de recherche

Le but de nos essais est de comprendre pourquoi certaines CI vivantes contrôlent bien les adventices et **si l'allélopathie joue un rôle important au champ**, c'est-à-dire si la suppression des adventices est liée à la libération d'allélochimiques dans le sol. Pour cela nous avons mis au point un système permettant de séparer les différents facteurs de concurrence notamment l'ombrage des éventuels phénomènes allélopathiques.

4.1 L'ombrage n'est pas le facteur principal dans la suppression des adventices

Il est connu que de nombreuses CI suppriment fortement les adventices pendant l'interculture, comme par exemple le sarrasin (*Fagopyrum esculentum* Moench) (Creamer et Baldwin, 2000 ; Kumar et al., 2009), la moutarde brune (*Brassica juncea* (L.) Czern.) (Björkman et al., 2015) et le radis fourrager

(*Raphanus sativus* var. *longipinnatus* L.H. Bailey) (Lawley et al., 2012). Nous avons pu le confirmer dans des essais au champ pendant trois années de suite (Tableau 1). Le sarrasin supprimait des adventices pour au moins 95%, la moutarde brune 91% et le radis fourrager 93% par rapport à un témoin sol nu sans CI.

Tableau 1 : Suppression des adventices par le sarrasin (var Lileja), la moutarde brune (var Vitasso) et le radis fourrager (var Structurator) entre 2013 et 2015 dans des essais au champ. La suppression est calculée par rapport au témoin sol nu sans CI.

année	sarrasin	moutarde brune	daikon
	Suppression des adventices (%)		
2013	100	100	
2014	95	91	93
2015	100		98

De nombreuses études montrent qu'il y a une corrélation entre la biomasse des couverts et leurs effets suppressifs sur les adventices (Finney et al., 2016 ; Lemessa et Wakjira, 2015 ; Wittwer et al., 2017). Un développement juvénile rapide et une biomasse importante crée un ombrage aux adventices. Des études suggèrent que la suppression des adventices est due à la réduction par les couverts de la lumière solaire disponible (ombrage) (Brust et al., 2014 ; Uchino et al., 2011). Avec l'installation des filets dans les CI nous avons étudié l'impact de l'ombrage sur la croissance des adventices. Ces filets permettent d'écarter le matériel végétal et de fortement diminuer l'ombrage sur les adventices (Photo 1).

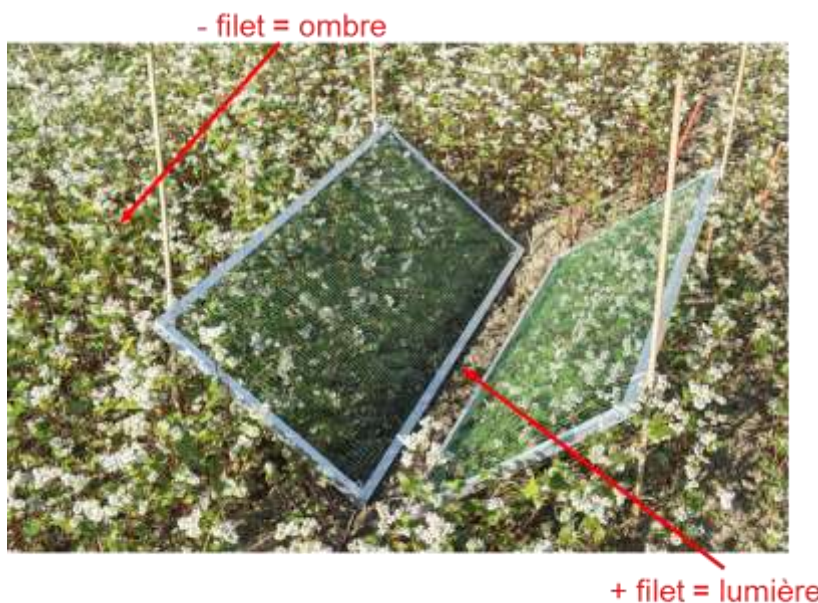


Photo 1 : Dispositif au champ pour tester l'influence de l'ombrage sur la croissance de l'amarante.

Dans nos recherches nous avons choisi comme plante modèle, l'amarante (*Amaranthus retroflexus*), une adventice typique des cultures d'été. Nous avons pu observer une forte suppression de l'amarante sous les couverts à l'ombre : sarrasin ($\geq 87\%$), moutarde brune ($\geq 94\%$) et radis fourrager ($\geq 94\%$) (Tableau 2, ombrage fort).

Tableau 2 : Suppression de la croissance de l'amarante par différents couverts entre 2013 et 2015 dans des essais au champ. Les amarantes poussaient soit sous la CI (ombrage fort) soit entre deux filets qui écartaient les feuilles (ombrage faible). La suppression est calculée par rapport au témoin sans CI (sol nu).

année	sarrasin ombrage fort	sarrasin ombrage faible	moutard brune ombrage fort	moutarde brune ombrage faible	daikon ombrage fort	daikon ombrage faible
2013	100	94	100	97		
2014	87	89	94	88	94	92
2015	99	99			99	99

Si l'ombrage des couverts (= biomasse importante) est un facteur significatif dans la suppression de l'amarante, la diminution de l'ombrage par les filets devraient augmenter sa croissance. Pourtant, dans nos essais au champ, la suppression de l'amarante en faible ombrage entre les filets est presque toujours la même que sous le couvert (Tableau 2, ombrage faible). Des petites différences peuvent être observées pour le sarrasin en 2013 et la moutarde en 2014 ou l'adventice poussaient mieux avec plus de lumière. Sur la base de nos résultats nous concluons que l'ombrage n'est pas le facteur principal de la suppression de l'amarante par le sarrasin, la moutarde brune et le radis fourrager. D'autres facteurs doivent donc être responsables pour les effets observés. Nous supposons que l'allélopathie joue un rôle important (Gfeller et al., 2018).

Pourtant, dans la littérature scientifique il n'existe aucune preuve pour l'effet allélopathique de ces trois CI. L'état actuel des connaissances sur le sarrasin est résumé dans une review (Falquet et al., 2015). Les moutardes sont connues pour leurs effets de biofumigation après incorporation dans le sol. Ils contiennent des glucosinolates qui sont hydrolysés par l'enzyme myrosinase pour former des isothiocyanates qui peuvent être toxiques pour les adventices. Les glucosinolates s'accumulent dans les tissus végétaux et sont également sécrétés par les racines (Schreiner et al., 2011). La moutarde brune a été étudiée dans des essais aux États-Unis (Björkman et al., 2015). Ces études ont également pu montrer que la suppression des adventices par la moutarde brune était indépendante de sa biomasse aérienne. Ils concluent que ce résultat n'est pas attendu si la compétition pour la lumière et l'eau sont les principaux mécanismes de suppression. Björkman et al. (2015) ont également étudié si l'effet suppressif sur les adventices était plus fort avec les variétés de moutardes avec des teneurs élevées de glucosinolates. Pourtant, aucune différence sur la suppression des adventices n'a pu être montrée entre des variétés ayant des teneurs en glucosinolates variables. En ce qui concerne le radis fourrager des hypothèses différentes existent. Dans une récente étude, Kunz et al. (2016) concluent que la suppression des adventices par le radis fourrager en automne est due à des effets compétitifs et allélopathiques. Cependant, les effets biochimiques/allélopathiques ont été étudiés avec des extraits aqueux des parties aériennes et racinaires du radis fourrager cultivé en pot. Il n'a pas été testé si les mêmes composés allélochimiques sont présents au champ en quantité suffisante pour avoir un effet suppressif sur les adventices. Lawley et al. (2012) ont également étudié la suppression des adventices pendant l'interculture en automne et concluent que le développement rapide du radis fourrager en automne concurrence les adventices et est responsable de l'effet observé. Dans leur étude il ne trouve pas d'indications d'effets allélopathiques.

4.2 Essais au phytotron

Dans nos essais au champ nous avons pu supprimer l'effet d'ombrage des couverts. Par contre, en plus de la lumière la compétition pour les ressources comprend l'eau, les éléments nutritifs et l'espace. Dans des conditions naturelles, il est difficile de garantir un apport en eau et en éléments nutritifs

suffisant et régulier. Nous avons donc mené des expériences en pot dans des conditions contrôlées en phytotron. Dans un premier temps nous avons supprimé l'ombrage avec des filets et séparé les racines des deux espèces par une barrière en plastique. Ainsi nous avons montré que la suppression de l'amarante par le sarrasin est due à l'ombrage et à des interactions racinaires potentiellement allélopathiques entre les deux espèces (Falquet et al., 2014). Actuellement, nous travaillons avec un tissu (30 µm) qui nous permet d'étudier si les exsudats racinaires diffusent d'une plante à l'autre. Ces expériences en cours indiquent que la suppression de l'amarante par le sarrasin est (en grande partie) due à des exsudats racinaires du sarrasin. Nous supposons que le même mécanisme joue un rôle important au champ ce qui pourrait expliquer la suppression de l'amarante en absence d'ombrage, ce qui reste à prouver.

4.3 Approche métabolomique

Nos recherches se concentrent sur le rôle des exsudats racinaires dans la manifestation d'un effet allélopathique. Les racines sont une zone métaboliquement active qui joue un rôle essentiel dans les interactions avec la rhizosphère et la principale voie par laquelle les allélochimiques atteignent le sol environnant sont les exsudats racinaires (Massalha et al., 2017). Dans notre recherche, nous considérons que, pour trouver de nouveaux phénomènes allélopathiques, la présence de compétiteurs, dans notre cas les adventices, est nécessaire. En effet, toute stratégie de défense est coûteuse pour la plante car elle nécessite des ressources qui pourraient être utilisées dans la croissance ou la reproduction. Ainsi si le coût lié à la défense est inférieur au coût lié à la perte engendrée par la présence des compétiteurs, la plante a intérêt de produire des composés allélopathiques. Suite à ces hypothèses, nous cherchons à connaître la réponse d'une CI, le sarrasin, à la présence d'une adventice. Est-ce qu'il y a une reconnaissance de la présence de l'adventice ? Est-ce que la reconnaissance par le sarrasin induit la production et libération de molécules affectant la croissance et le développement de l'adventice ? Ceci a déjà été démontré chez le riz (Zhao et al., 2005) et le sorgho (Dayan, 2006), car les allélochimiques étaient déjà connus et mesurables. Dans notre cas, il est difficile d'isoler et d'identifier des allélochimiques dans le sol car c'est un environnement très complexe et riche en composés très variés. Nous avons pris parti de nous éloigner de la réalité agronomique en utilisant des modèles simplifiés. Le sarrasin est cultivé dans de l'agar ou du sable en présence ou absence de l'adventice. Les composés intéressants sont ceux produits lorsque le sarrasin est en présence de l'adventice. Le risque est que l'exsudation des racines soit différente dans ces conditions « artificielles », toutefois la présence des molécules sera vérifiée ultérieurement dans la terre du champ. Après avoir extrait les exsudats, la séparation des composés chimiques se fait par des techniques de chromatographie couplée à la spectrométrie de masse (LC-MS). Cette technique ne permet d'identifier la molécule que si celle-ci est déjà répertoriée dans les bases de données et donc connue, ce qui n'était pas le cas pour les composés intéressants exsudés par le sarrasin. En effet, les études métabolomiques sur le sarrasin ont été pour la plupart réalisées sur des farines de sarrasin avec des objectifs différents des nôtres. Il nous faudra donc purifier les composés d'intérêt et les identifier par résonance magnétique nucléaire (RMN), un travail long et laborieux. Des résultats préliminaires montrent que les exsudats et le potentiel allélopathique du sarrasin sont différents s'il est en présence de l'amarante.

Conclusions et perspectives

Nos contacts avec les agriculteurs et notre propre expérience nous ont montré que l'efficacité des CI est parfois variable, il est nécessaire d'améliorer la fiabilité des CI. L'utilisation de cultivars respectant les mêmes règles de sélection que les cultivars élaborés pour les cultures principales nous paraît un élément important. Actuellement, l'allélopathie des cultures intermédiaires n'a pas été prouvée au champ car nous ne connaissons pas les mécanismes impliqués. Plusieurs indices suggèrent que le

sarrasin supprime l'amarante via des exsudats racinaires allélopathiques. Nous travaillons à identifier les composés allélopathiques impliqués chez le sarrasin. Cette approche sera ensuite élargie à d'autres CI. Le but sera la mise en évidence des différences variétales au sein d'une CI pour le caractère allélopathique et l'étude du potentiel d'amélioration lié à ce trait et son efficacité en champ.

Références bibliographiques

- Bertholdsson N.O., 2004. Variation in allelopathic activity over 100 years of barley selection and breeding. *Weed Res.* 44, 78-86.
- Bezuidenhout S.R., Reinhardt C.F., Whitwell M.I., 2012. Cover crops of oats, stooling rye and three annual ryegrass cultivars influence maize and *Cyperus esculentus* growth. *Weed Res.* 52, 153-160.
- Björkman T., Lowry C., Shail J.W., Brainard D.C., Anderson D.S., Masiunas J.B., 2015. Mustard cover crops for biomass production and weed suppression in the great lakes region. *Agronomy Journal* 107, 1235-1249.
- Bouhaouel I., Gfeller A., Fauconnier M.L., Rezgui S., Slim Amara H., du Jardin P., 2015. Allelopathic and autotoxicity effects of barley (*Hordeum vulgare* L. ssp. *vulgare*) root exudates. *BioControl* 60, 425-436.
- Brust J., Claupein W., Gerhards R., 2014. Growth and weed suppression ability of common and new cover crops in Germany. *Crop Protection* 63, 1-8.
- Creamer N.G., Baldwin K.R., 2000. An evaluation of summer cover crops for use in vegetable production systems in North Carolina. *Hortscience* 35, 600-603.
- Dayan F.E., 2006. Factors modulating the levels of the allelochemical sorgoleone in *Sorghum bicolor*. *Planta* 224, 339-346.
- De Albuquerque M.B., Dos Santos R.C., Lima L.M., Melo Filho P.D.A., Nogueira R.J.M.C., Da Câmara C.A.G., Ramos A.D.R., 2011. Allelopathy, an alternative tool to improve cropping systems. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 31, 379-395.
- Duke S.O., 2015. Proving allelopathy in crop-weed interactions. *Weed Science* 63, 121-132.
- Falquet B., Gfeller A., Pourcelot M., Tschuy F., Wirth J., 2015. Weed Suppression by Common Buckwheat: A Review. *Environmental Control in Biology* 53, 1-6.
- Falquet B., Roux D., Henriët L., Tschuy F., Wirth J., 2014. Simple method to separate resource competition from allelopathic root interactions. *Allelopathy Journal* 34, 227-240.
- Farooq M., Jabran K., Cheema Z.A., Wahid A., Siddique K.H., 2011. The role of allelopathy in agricultural pest management. *Pest Management Science* 67, 493-506.
- Finney D.M., White C.M., Kaye J.P., 2016. Biomass production and carbon/nitrogen ratio influence ecosystem services from cover crop mixtures. *Agronomy Journal* 108, 39-52.
- Gfeller A., Herrera, J.M., Tschuy, F., Wirth, J., 2018. Explanations for *Amaranthus retroflexus* growth suppression by cover crops. *Crop Protection* 104, 11-20.
- Jabran K., Mahajan G., Sardana V., Chauhan B.S., 2015. Allelopathy for weed control in agricultural systems. *Crop Protection* 72, 57-65.
- Kalinova J., Vrchotova N., 2009. Level of Catechin, Myricetin, Quercetin and Isoquercitrin in Buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench), Changes of Their Levels during Vegetation and Their Effect on The Growth of Selected Weeds. *J. Agric. Food Chem.* 57, 2719-2725.
- Kobayashi K., 2004. Factors affecting phytotoxic activity of allelochemicals in soil. *Weed Biology and Management* 4, 1-4.
- Kong C.H., Chen X.H., Hu F., Zhang S.Z., 2011. Breeding of commercially acceptable allelopathic rice cultivars in China. *Pest Management Science* 67, 1100-1106.
- Kumar V., Brainard D.C., Bellinder R.R., 2009. Effects of Spring-sown Cover Crops on Establishment and Growth of Hairy Galinsoga (*Galinsoga ciliata*) and Four Vegetable Crops. *Hortscience* 44, 730-736.

- Kunz C., Sturm D.J., Varnholt D., Walker F., Gerhards R., 2016. Allelopathic effects and weed suppressive ability of cover crops. *Plant, Soil and Environment* 62, 60-66.
- Latif S., Chiapusio G., Weston L.A., 2016. Allelopathy and the Role of Allelochemicals in Plant Defence, *Advances in Botanical Research*.
- Lawley Y.E., Teasdale J.R., Weil R.R., 2012. The mechanism for weed suppression by a forage radish cover crop. *Agronomy Journal* 104, 205-214.
- Lemessa F., Wakjira M., 2015. Cover crops as a means of ecological weed management in agroecosystems. *Journal of Crop Science and Biotechnology* 18, 133-145.
- Massalha H., Korenblum E., Tholl D., Aharoni A., 2017. Small molecules below-ground: the role of specialized metabolites in the rhizosphere. *Plant Journal* 90, 788-807.
- Rice E.L., 1984. *Allelopathy*. Academic Press.
- Schreiner M., Krumbein A., Knorr D., Smetanska I., 2011. Enhanced glucosinolates in root exudates of brassica rapa ssp. rapa mediated by salicylic acid and methyl jasmonate. *J. Agric. Food Chem.* 59, 1400-1405.
- Uchino H., Iwama K., Jitsuyama Y., Ichiyama K., Sugiura E., Yudate T., 2011. Stable characteristics of cover crops for weed suppression in organic farming systems. *Plant Production Science* 14, 75-85.
- Wittwer R.A., Dorn B., Jossi W., Van Der Heijden M.G.A., 2017. Cover crops support ecological intensification of arable cropping systems. *Scientific Reports* 7.
- Zhao H., Li H.B., Kong C.H., Xu X.H., Liang W.J., 2005. Chemical response of allelopathic rice seedlings under varying environmental conditions. *Allelopathy Journal* 15, 105-110.
- Zuo S., Liu G., Li M., 2012. Genetic basis of allelopathic potential of winter wheat based on the perspective of quantitative trait locus. *Field Crops Research* 135, 67-73.

Cet article est publié sous la licence Creative Commons (CC BY-NC-ND 3.0).



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/fr/>

Pour la citation et la reproduction de cet article, mentionner obligatoirement le titre de l'article, le nom de tous les auteurs, la mention de sa publication dans la revue « Innovations Agronomiques », la date de sa publication, et son URL).