

*Cultures de couverture pour contrôler les
mauvaises herbes en champs: perspectives pour
le Québec*

Recensement des écrits

Agri 490
Université McGill

Lauréline Boyer et Florence Vachon-Laberge
Hiver 2019

Table des matières

Mise en contexte	2
Vesce velue	3
Présentation générale de l'espèce.....	3
Bénéfices et mises en garde d'utilisation comme culture de couverture	4
Effet herbicide.....	4
Aspects techniques en vue d'une potentielle utilisation au Québec	7
Sorgho et hybride sorgho-soudan	8
Présentation générale de la culture.....	8
Bénéfices et mises en garde d'utilisation comme culture de couverture	9
Effet herbicide.....	10
Aspects techniques en vue d'une potentielle utilisation au Québec	13
Seigle	13
Présentation générale de l'espèce.....	13
Bénéfices et mises en garde d'utilisation comme culture de couverture	14
Effet herbicide.....	15
Aspects techniques en vue d'une potentielle utilisation au Québec	17
Moutardes.....	18
Présentation générale de l'espèce.....	18
Bénéfices et mises en garde d'utilisation comme culture de couverture	19
Effet herbicide.....	19
Aspects techniques en vue d'une potentielle utilisation au Québec	22
Références	23

Mise en contexte

La réduction de l'utilisation de pesticides en agriculture au Québec est présentement au coeur du débat agricole. En effet, la préoccupation des consommateurs et des acteurs du milieu par l'effet de ceux-ci sur leur santé et sur l'environnement est grandissante. La diffusion d'une série de documentaires par Radio-Canada a d'ailleurs diffusé plusieurs documentaires au cours des dernières semaines soulevant les enjeux liés à l'utilisation du glyphosate. Le gouvernement du Québec a d'ailleurs mis sur pied en 2011 la stratégie phytosanitaire québécoise en agriculture afin d'encadrer et de réduire l'utilisation de pesticides. L'objectif 6 de cette stratégie consiste à «renforcer l'adoption de pratiques agricoles favorisant la gestion intégrée des ennemis des cultures» (Gouvernement du Québec, 2011). La gestion intégrée des ennemis de cultures requiert, entre autres, l'utilisation d'une combinaison de méthodes (physiques, chimiques, culturales). Dans les dernières années, une pratique culturale ayant un potentiel intéressant en matière de lutte aux ravageurs a fait tranquillement son chemin dans le paysage agricole québécois: l'utilisation de cultures de couverture.

La preuve des bienfaits des cultures de couverture pour le sol n'est plus à faire. En effet, une utilisation adéquate de celles-ci permet de réduire l'érosion des sols et la perte de matière organique, de décompacter les sols, d'assurer un apport de matière organique (engrais vert), de recycler les nutriments du sol et d'augmenter les rendements des cultures suivantes (MAPAQ, 2018). Dans les dernières décennies, la découverte de la nature répressive des cultures de couverture sur les populations de mauvaises herbes a ouvert la voie à de nouvelles recherches permettant de développer un outil de plus pour les producteurs en la lutte intégrée aux ravageurs. Les cultures de couvertures peuvent contrôler les mauvaises herbes soit en créant une barrière physique, soit en compétitionnant pour les ressources ou encore en sécrétant des composés allélopathiques. L'allélopathie peut être définie comme l'effet bénéfique ou nuisible, direct ou indirect, d'une plante sur une autre. Cet effet est engendré par la sécrétion de composés chimiques par la plante dans l'environnement (Turk and Tawaha, 2003). Ainsi, les plantes sécrétant certains composés allélopathiques en plus grande quantité ou de plus grande toxicité représentent des perspectives intéressantes comme alternative aux herbicides de synthèse.

C'est le cas de la vesce velue, du sorgho, du seigle et des moutardes. En effet, en plus de pouvoir être utilisées comme culture de couverture afin de réduire les populations de mauvaises herbes, ces plantes représentent des options prometteuses pour le contexte agricole québécois.

Vesce velue

Présentation générale de l'espèce

La vesce velue (*Vicia villosa* Roth) est une plante annuelle, parfois bisannuelle, appartenant à la famille des légumineuses (*Fabaceae* ou *Leguminosae*). Aussi appelée vesce des sables, on la retrouve dans les régions tempérées de l'hémisphère nord et sud (Undersander *et al.*, 1990). La croissance de la vesce velue s'apparente quelque peu à celle d'une plante grimpante ou d'une vigne. Lorsque cultivée seule, la culture atteint une hauteur de 30 à 50 cm, alors que lorsque cultivée avec des céréales, elle peut atteindre une hauteur de 90 à 120 cm. Toutefois, les tiges sont en réalité beaucoup plus longues, car elles sont souvent entortillées sur elles-mêmes. Les feuilles, tout comme les tiges, sont velues et les fleurs sont de couleur bleu-violet. Quoique cette plante possède un système racinaire peu profond (la majorité des racines se retrouve dans les 20 premiers cm de sol), une fois bien établie, elle tolère bien la sécheresse (Varhallen *et al.*, 2003).

En général, elle pousse bien dans la majorité des sols bien drainés même si elle tend à préférer les sols sablonneux (Varhallen *et al.*, 2003). Cette légumineuse est aussi adaptée aux conditions hivernales, elle peut tolérer des températures extrêmement froides et elle est principalement utilisée comme plante fourragère ou comme culture de couverture pour l'amélioration des sols (Varhallen *et al.*, 2003).

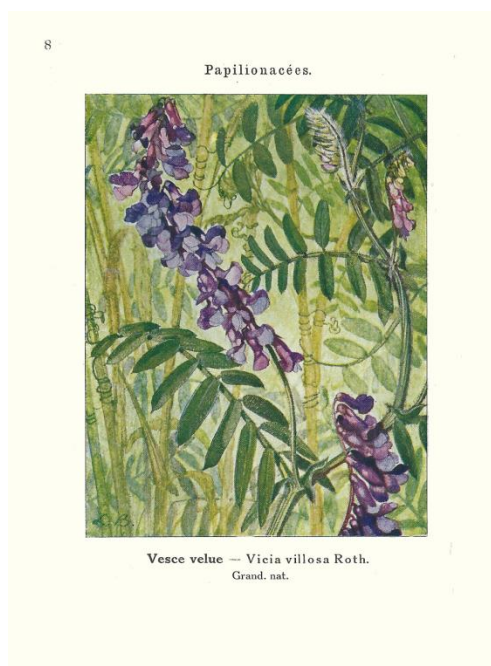


Figure 1 : Représentation de la vesce velue.

Bénéfices et mises en garde d'utilisation comme culture de couverture

Faisant partie de la famille des légumineuses, cette plante a comme avantage premier d'être fixatrice d'azote. En fait, cette plante peut même souvent fixer assez d'azote (jusqu'à 164 kg/ha selon Halde *et al.* (2014)) pour répondre presque entièrement aux besoins de la culture subséquente (Varhallen *et al.*, 2003). Bien implantée, elle aide aussi à prévenir l'érosion des sols plus longtemps que toute autre culture de couverture en plus de créer un environnement propice à la survie de plusieurs insectes prédateurs bénéfiques tels que les coccinelles et de pouvoir empêcher la croissance de mauvaises herbes (Fujii, 2001 ; Varhallen *et al.*, 2003). Toutefois, elle peut héberger certaines espèces de nématodes et il n'est pas possible de l'incorporer tôt au début de la saison, car elle est dormante lorsque les températures sont fraîches (Varhallen *et al.*, 2003). Il est aussi à noter que les vignes de la vesce peuvent aussi causer quelques problèmes avec la machinerie agricole (Duiker *et al.* 2010).

Effet herbicide

Une des caractéristiques distinctives de la vesce velue est son utilisation possible comme culture d'étouffement afin de contrôler les mauvaises herbes au champ. En effet, plusieurs études se sont

penchées sur l'effet allélopathique de cette plante. Isolé pour la première fois en 2003 par Kamo *et al.*, le principal composé chimique allélopathique produit serait le cyanamide. Par la suite, d'autres expériences sont venues confirmer et affiner ce résultat. En effet, en 2015, Geddes *et al.* ont démontré qu'on retrouve bel et bien du cyanamide dans les tissus de la vesce velue au stade végétatif et au stade reproductif. De nos jours, le cyanamide est d'ailleurs synthétisé chimiquement pour ses effets fongicides, nématicides et herbicides (Kamo *et al.*, 2006).

Depuis la confirmation de la nature allélopathique de la vesce velue, plusieurs chercheurs ont tenté d'évaluer son potentiel d'inhibition par divers moyens et sur diverses plantes en laboratoire ou en serre. Plusieurs études ont ainsi conclu que son effet allélopathique pouvant interférer avec la croissance des mauvaises herbes était réel (Fujii, 2001; Ercoli *et al.*, 2007; Teasdale *et al.* 2007). Toutefois, les résultats des évaluations d'activité allélopathique varient grandement en fonction du type de test utilisé, de l'espèce répondeuse (sur laquelle l'effet allélopathique est testé) et de l'effet observé (inhibition de la germination, de l'allongement de la racine ou de la pousse principalement). Ainsi, Fujii (2001) évalue que la vesce velue inhibe à 81 % l'allongement de la racine des semences de laitue et conclut, après avoir passé en revue plus de 53 espèces de cultures de couverture, qu'il s'agit d'une des plantes ayant le plus grand potentiel allélopathique pour contrôler les mauvaises herbes. Dans le même ordre d'idée, Ercoli *et al.* (2007) observe que *Vicia villosa* inhibe de 20 % la germination du chénopode blanc (*Chenopodium album*), une mauvaise herbe courante, mais n'a pas d'effet sur la germination de l'amarante à pied rouge (*Amaranthus retroflexus*) et de la renouée des oiseaux (*Polygonum aviculare*). Dans cette même expérience, la vesce velue s'est cependant démarquée par son inhibition de l'allongement de la racine atteignant 57 % pour la renouée et 83 % pour l'amarante, mais elle n'a eu aucun impact sur l'allongement des pousses des trois espèces de mauvaises herbes répondeuses. En général, l'inhibition de l'allongement de la racine étant un des meilleurs paramètres permettant d'évaluer le potentiel allélopathique (Chon, 2003 ; Gebbes *et al.*, 2015), on pourrait ainsi conclure que l'effet allélopathique herbicide de la vesce velue n'est plus à prouver. Cependant, devant l'incohérence des résultats et tests effectués, en 2015, Gebbes *et al.* de l'université du Manitoba ont décidé de procéder à une série de tests en laboratoires plus exhaustifs afin d'évaluer le réel potentiel allélopathique de cette plante. Leurs résultats contredisent la plupart des autres études sur le même sujet. En effet, selon leurs évaluations, la vesce velue n'a pas eu d'effet inhibiteur notable ni sur la germination ni sur l'allongement de la racine des 3 espèces de mauvaises herbes répondeuses

testées (folle avoine, kochia à balais et chénopode blanc) et aurait même au contraire stimulé de 14 % la germination de chénopode blanc. Conscients de l'efficacité à réprimer les mauvaises herbes de la vesce velue en champ déjà démontrée par maintes études, Gebbes *et al.* (2015) concluent qu'elle serait due à une répression physique plutôt qu'allélopathique. Diverses recherches menées en champs sur la vesce velue sont d'ailleurs arrivées à de semblables conclusions.

En effet, dans les dernières décennies, plusieurs scientifiques à travers le monde ont aussi tenté d'évaluer l'efficacité de la vesce velue en matière de contrôle des mauvaises herbes en champs. Vraisemblablement, l'effet herbicide de cette plante utilisée comme culture associée ou de couverture était déjà connu avant l'identification même de son composé allélopathique. En 1993, Teasdale et Daughtry (1993) évaluent déjà, après 3 saisons de culture, que la vesce velue permet un meilleur contrôle des mauvaises herbes lorsqu'elle est laissée vivante le plus longtemps possible dans les champs que lorsqu'elle est desséchée (tuée soit par un herbicide, soit par fauchage). Durant la même année, Hoffman et Regnier (1993) déterminent, au cours d'une étude de deux ans, l'impact d'une culture de couverture de vesce velue plantée à l'automne sur les mauvaises herbes et sur les rendements de culture dans des champs de maïs sans travail de sol. Ils concluent, eux aussi, que lorsque laissée vivante ou passée au rouleau-crêpeur, l'effet herbicide est le plus grand allant de la répression de 55 à 96 % de la densité et de la biomasse des mauvaises herbes. Toutefois, cette option était la plus dommageable pour la croissance et les rendements de maïs. Finalement, ils observent que lorsque le maïs est planté au stade de mi-floraison (au lieu d'au début du stade bourgeon) de la vesce, aucun traitement n'est nécessaire pour supprimer la culture de couverture, le développement et le contrôle des mauvaises herbes est maximal et il n'y a pas de compétition avec la croissance plants de maïs. Cependant, la date de semis plus tardive pourrait potentiellement diminuer les rendements du maïs (Hoffman and Regnier, 1993). Lors d'une étude plus récente menée au Manitoba, Halde *et al.* (2014) ont évalué 10 espèces différentes de cultures de couverture pour déterminer laquelle serait la plus avantageuse dans un système de culture biologique sans travail de sol. Plantés au printemps puis écrasés au rouleau à la mi-été (au stade de floraison), ces paillis ont, l'été suivant, été semés directement avec du blé de printemps. Selon leurs résultats, la vesce velue était la plus prometteuse des espèces. En effet, elle aurait produit la plus grande biomasse à l'automne et aurait permis le meilleur contrôle des mauvaises herbes en plus de fournir une quantité d'azote élevée à l'automne et au printemps suivant. D'ailleurs, les rendements de blé

obtenus dans les paillis de vesce velue étaient comparables à ceux obtenus en système conventionnel dans la région (Halde *et al.* 2014). Ces résultats coïncident aussi avec ceux de Fujii (2001) qui déterminaient que la vesce velue était la plus intéressante parmi 53 espèces de cultures de couverture pour contrôler les mauvaises herbes dans les champs, prairies et vergers abandonnés au Japon, car elle permettait la formation d'une épaisse couche de paillis.

En conclusion, que ce soit par l'effet allélopathique du cyanamide ou par la barrière physique créée par un épais paillis, il est possible d'affirmer qu'une culture de couverture de vesce velue pourrait être utilisée efficacement afin de contrôler les mauvaises herbes en champs.

Aspects techniques en vue d'une potentielle utilisation au Québec

Diverses études ont évalué des taux de semis différents pour une culture de couverture de vesce velue pouvant contrôler les mauvaises herbes en champs. Ainsi durant la première saison dans leurs parcelles au Manitoba, Halde *et al.* (2014) avaient semé cette légumineuse en monoculture à un taux de 51,8 kg/ha et obtenu une importante biomasse grâce à sa croissance prolongée en automne. L'année suivante, malgré leur reprise lente de croissance au printemps, les résidus de vesce velue contrôlaient déjà les mauvaises herbes de façon efficace lorsque les jeunes plants de blé émergeaient. Les chercheurs ont aussi observé que le passage du rouleau-crêpeur n'a eu aucun effet sur les plants de vesces velues la première année et que cela n'a pas empêché d'obtenir de bons rendements de blé tout en fournissant l'effet herbicide nécessaire. Toutefois, puisque cette plante connaît un début de saison lent permettant l'établissement de mauvaises herbes, ils recommandent le passage du rouleau-crêpeur durant la première saison de culture afin de tuer les mauvaises herbes poussant au travers de la vesce velue (Halde *et al.*, 2014). Une revue de littérature réalisée par Agriculture et Agroalimentaire Canada sur l'utilisation des cultures de couverture pour la lutte aux mauvaises herbes en Amérique du Nord évalue les taux de semis adéquats pour la vesce velue variant entre 20 et 40 kg/ha (Coelho *et al.*, 2011). Ces taux sont similaires à ceux recommandés par l'OMAFRA qui conseille une implantation de vesce velue de 20 à 30 kg/ha (Varhallen *et al.*, 2003). Toujours selon Coelho *et al.*, (2011), le prix des semences se situerait entre 2,75 et 4,76 \$/kg.

Une autre expérience semblable à celle de Halde *et al.* (2014) réalisée en 2011, au Québec cette fois, évaluait que la vesce velue semée à un taux de 30 kg/ha en semis pur à l'automne donnait un paillis contenant très peu de mauvaises herbes lors du passage du rouleau-crêpeur au début juin de

l'année suivante (Leroux *et al.*, 2011). Toutefois, lorsque semées avec du maïs sucré, les cultures de couverture composées d'un mélange de seigle et de vesce velue s'avèrent plus efficaces pour contrôler les mauvaises herbes. Cependant, ces couvertures mixtes ont causé un plus grand retard de croissance du maïs sucré que les couvertures de vesce velue pure. Les chercheurs recommandent donc une plus grande proportion de vesce velue dans le mélange de cultures de couverture mixtes. Dans le cadre de leur recherche, ils avaient utilisé un mélange de 110 kg/ha de seigle et de 20 kg/ha de vesce velue (Leroux *et al.*, 2011).



Figure 2 : Paillis de vesce velue semé en automne après le passage du rouleau-crêpeur à l'été suivant (Leroux *et al.*, 2011)

Sorgho et hybride sorgho-soudan

Présentation générale de la culture

Le sorgho (*Sorghum bicolor* (L.)) fait partie de la famille des graminées et est utilisé principalement comme fourrage (OMAFRA, 2017). Il existe différents types de sorgho, soit le sorgho fourrager, le sorgho pour le grain, le sorgho-soudan et l'herbe de Soudan qui ont différentes caractéristiques, notamment leur date de maturité et leur hauteur (Dial, 2013). Ces plantes sont d'origine tropicale (Dial, 2013). Le sorgho-Soudan est un hybride entre le sorgho herbacé et le sorgho fourrager (OMAFRA, 2017). Ce sont des plantes moins connues au Québec, mais elles commencent à être de plus en plus adoptées comme cultures fourragères, pour la production de biocarburants, en cultures intercalaires et en cultures de couverture dans les régions du sud du Québec (Weill et Roy-Fortin, 2014 et Bélanger *et al.*, 2018). Ces plantes sont de type C4 et sont donc adaptées à un climat plus chaud, d'où leur utilisation moins commune au Québec (Weill et

Roy-Fortin, 2014). Elles tolèrent bien la sécheresse. En effet, le sorgho développe un système racinaire extensif et sa surface foliaire est environ deux fois plus petite que celle du maïs, ce qui augmente sa capacité de rétention d'eau (OMAFRA, 2017). Le sorgho et l'hybride sorgho-Soudan peuvent également être fauchés plusieurs fois durant la saison estivale, ce qui stimule la croissance de leur système racinaire (Björkman et Shail, 2010). Les deux photos de la figure 2 montrent un plant de sorgho mature et un champ de sorgho.



Figure 3: Le sorgho-Soudan en graines et un champ en culture de sorgho-Soudan (Verhallen *et al.*, 2001).

Bénéfices et mises en garde d'utilisation comme culture de couverture

Le sorgho et le sorgho-Soudan sont adaptés aux régions plus au sud du Québec. En effet, le sol doit être chaud lors du semis (Bélangier *et al.*, 2018). Par exemple, une étude réalisée à l'université Cornell démontre qu'une période de croissance d'au moins 2 mois sans gel est nécessaire avant d'observer les effets bénéfiques du sorgho sur la compaction du sol (Björkman et Shail, 2010).

2900 UTM (unités thermiques maïs) sont également nécessaires pour la culture du sorgho comme culture principale (Bélanger *et al.*, 2018).

En plus d'être utilisés pour contrôler les mauvaises herbes, le sorgho et le sorgho-soudan aident à la décompaction du sol grâce à leur système racinaire développé. En effet, une étude du CÉTAB publiée en 2014 (Weill et Roy-Fortin, 2014) indique que le sorgho-Soudan aide à ameublir les 5 cm à la surface du sol. Le sorgho-soudan est plus efficace lorsqu'il est planté après un sous-solage puisque les racines peuvent pénétrer plus profondément, amplifient le travail de sous-solage et améliorent les propriétés physiques du sol (Weill et Roy-Fortin, 2014).

Le sorgho et le sorgho-soudan sont des plantes exigeantes pour le sol et leur effet allélopathique peut réduire la minéralisation de l'azote dans le sol (Alsaadawi et Dayan, 2009). Ils peuvent donc être semés dans un mélange contenant des légumineuses pouvant fixer l'azote et ainsi réduire l'impact sur les nutriments disponibles dans le sol pour la prochaine culture (Lamarre, 2016).

Effet herbicide

Le sorgho et le sorgho-soudan peuvent être utilisés comme culture d'étouffement pour les mauvaises herbes, ce qui est un avantage majeur puisque peu de méthodes "naturelles" et sans travail de sol sont disponibles afin de contrôler ces organismes nuisibles importants. Bien entendu, le sorgho réduit la présence de mauvaises herbes en leur faisant compétition pour la lumière et les nutriments. Cet effet est présent pour toutes les cultures de couvertures, mais est plus marqué pour le sorgho et le sorgho-Soudan puisque ce sont des plantes qui produisent beaucoup de biomasse (Putman et DeFrank, 1983).

L'effet herbicide du sorgho est aussi lié à l'allélopathie. En effet, plusieurs études ont démontré que le sorgho et le sorgho-soudan excrétaient des molécules ayant des effets allélopathiques répressifs sur les mauvaises herbes (Einhellig et Souza, 1992, Weston *et al.*, 1988, Putman et DeFrank, 1983, Nimbali *et al.*, 1996, Dayan *et al.*, 2010). La sorgoléone est le métabolite secondaire qui semble avoir le plus d'effets pour la suppression des mauvaises herbes. L'effet allélopathique du sorgho a été observé dès les années 1900 (Putman et DeFrank, 1983). En effet, certains chercheurs avaient déjà remarqué que le rendement du maïs était plus bas lorsqu'il suivait le sorgho et que certaines plantes ne poussaient pas à proximité du sorgho (Putman et DeFrank, 1983). La sorgoléone est un exsudat racinaire synthétisé dans les radicelles de la plante et peut

s'accumuler jusqu'à 20 µg/mg de radicule (Dayan *et al.*, 2010). C'est un composé hydrophobe de benzoquinone qui a un plus grand effet sur les plantes à larges feuilles que sur les graminées. Les mauvaises herbes produisant des grosses semences sont également moins affectées que les mauvaises herbes à petites graines (Dayan *et al.*, 2010, et Nimbal *et al.*, 1996). La sorgoléone a un effet sur la germination et sur les jeunes plantes (4 jours et moins) (Dayan *et al.*, 1996). Ce métabolite agit en inhibant le photosystème et la chaîne d'électrons dans les mitochondries des cellules des plantes (Dayan *et al.*, 2010). Les plantes matures sont moins affectées par ce composé puisque sa mobilité est réduite dans leur organisme et qu'elles le métabolisent plus rapidement (Dayan *et al.*, 2010).

Le sorgho peut être utilisé pour la lutte aux mauvaises herbes sous forme de culture de couverture, de culture intercalaire, de résidus (incorporés ou non) ou d'extrait aqueux. Le sorgaab est l'extrait aqueux obtenu par le trempage de plantes de sorgho récoltées dans l'eau pour obtenir un extrait aqueux de sorgho ayant les propriétés allélopathiques de cette plante (Cheema *et al.*, 2003). Le sorgaab peut servir à arroser les champs pour réduire la quantité de mauvaises herbes (Cheema *et al.*, 2003). Des analogues de la sorgoléone sont d'ailleurs disponibles comme herbicides (de Armeida Barbosa, *et al.*, 2001).

Plusieurs expériences en laboratoires ont démontré que le sorgho et le sorgho-soudan inhibent la croissance des mauvaises herbes. L'effet de la sorgoléone sur l'élongation des tiges et la germination de différentes plantes en boîtes de Pétri a été évalué, en 1996, par Nimbal *et al.* Ils évaluent que l'effet de la sorgoléone est plus marqué sur la croissance de la tige que sur la croissance des racines. Certaines mauvaises herbes sont plus susceptibles que d'autres, notamment les digitales, l'abutilon et l'échinocloa pied-de-coq. En boîtes de Pétri, l'effet d'inhibition de la sorgoléone augmente avec la concentration et la production de ce métabolite était fortement dépendante des conditions de croissance. Par exemple, l'humidité semble avoir un effet, mais celui-ci n'a pas été testé (Nimbal *et al.*, 1996). Einhellig et Souza (1992) ont également démontré que la sorgoléone n'empêchait pas la germination, mais ralentissait, allant même jusqu'à arrêter, l'élongation de la radicule des mauvaises herbes. Avec des concentrations plus élevées (10µm), la surface foliaire et la masse des racines, des feuilles et de la tige des mauvaises herbes à larges feuilles ont significativement diminué.

Des études menées en champ démontrent également l'efficacité du sorgho et du sorgho-soudan. Lors d'une expérience publiée en 1989, Einhellig et Rasmussen ont observé une nette réduction des mauvaises herbes dans les parcelles cultivées avec du sorgho. La biomasse de mauvaises herbes était moins grande après la culture de sorgho qu'après la culture de maïs et de soya. Les mauvaises herbes à feuilles larges étaient plus affectées que les graminées. Des résultats similaires ont été obtenus dans différentes études (Weston *et al.*, 1989). Les mauvaises herbes n'étaient pas absentes dans les parcelles de sorgho, mais leur germination et leur croissance étaient retardées. La présence de sorgoléone n'a pas été testée dans cette expérience, mais l'hypothèse la plus plausible est que la réduction de mauvaises herbes a été causée par la présence de ce métabolite. Cette étude avance également que les conditions environnementales semblent avoir un impact sur l'allélopathie du sorgho. En 1983, Putman et DeFrank ont évalué l'efficacité des résidus du sorgho-soudan pour la suppression des mauvaises herbes. Les résidus laissés en surface ont réduit de beaucoup la biomasse de mauvaises herbes présentes dans les champs. L'incorporation des résidus n'a cependant eu aucun impact sur la population de mauvaises herbes. L'effet de suppression est donc probablement dû à la combinaison de la couverture du sol (manque d'accès à la lumière, étouffement) et de l'effet allélopathique. Cette même étude a conclu que les résidus de sorgho-soudan pouvaient également avoir un effet sur certaines plantes principales (le radis et la laitue notamment). Il est donc important de s'assurer de la compatibilité du sorgho-soudan et de la plante qui suivra.

Comme démontré dans les études présentées précédemment, le sorgho et le sorgho-soudan ont le potentiel d'être un outil utilisé pour la réduction des mauvaises herbes à larges feuilles. Le fonctionnement exact de la molécule qui cause l'allélopathie de ces plantes et son effet sur les mauvaises herbes demeurent à clarifier. En effet, les études s'entendent sur le fait qu'elle réduit la quantité de mauvaises herbes, mais certaines études affirment que c'est en réduisant la croissance des racines, en inhibant la croissance de la racine ou en réduisant la germination. Une meilleure compréhension du mode d'action permettra de déterminer son effet exact. Il est également important de porter attention à la rotation de culture puisque l'allélopathie du sorgho et du sorgho Soudan peut également avoir un impact sur la culture principale.

Aspects techniques en vue d'une potentielle utilisation au Québec

Lorsqu'utilisé comme culture de couverture, il est recommandé de semer le sorgho plus densément afin d'exploiter son effet allélopathique et d'étouffer les mauvaises herbes (Dial, 2013). Étant donné son effet restreint sur les graminées, il est peu recommandé de semer du sorgho dans des champs infestés par ce type de mauvaises herbes puisqu'il n'y a pas d'herbicides homologués pour la culture du sorgho (Bélanger *et al.*, 2018).

Selon la texture du sol, il est recommandé de semer le sorgho à une profondeur de 2 à 3 cm dans les sols argileux et jusqu'à 5 cm dans les sols sableux (Dial, 2013). Le sol doit être à une température de minimum 12°C pour la germination des graines (Verhallen, 2001). Selon l'USDA, il est suggéré de semer de 45 à 60 kg/ha à la volée et de 40 à 45 kg/ha avec un semoir (Dial, 2013). Agriculture Canada suggère plutôt un taux de semis de 15 kg/ha pour l'utilisation du sorgho en culture de couverture (Coelho *et al.*, 2011). Ces taux sont ajustés selon la fonction du sorgho et s'il est semé seul ou dans un mélange. Des semences sont surtout disponibles en Ontario et aux États-Unis. Une compagnie de l'Ontario développe actuellement des cultivars adaptés au climat de l'Ontario et du Québec (Bélanger *et al.*, 2018). Le coût des semences du sorgho fourrager était d'environ 4,84 \$/kg en 2011 en Ontario, alors que le prix du sorgho-soudan était de 1.68 \$/kg en 2011 au Nouveau-Brunswick (Coelho *et al.*, 2011).

Lorsque le climat le permet, la coupe du sorgho lorsque les plants atteignent 1-1.2m est recommandée pour stimuler la croissance des racines, le tallage et éviter que les tiges deviennent très ligneuses et que les plantes montent en graines (Verhallen, 2001).

Le sorgho est très sensible au gel ; il n'est donc pas nécessaire de le détruire avant l'hiver (Verhallen *et al.*, 2001). Si la culture suivant le sorgho est susceptible à la sorgoléone, l'incorporation des résidus réduit l'effet allélopathique de la plante (Putman et DeFrank, 1983 et Dial, 2013).

Seigle

Présentation générale de l'espèce

Le seigle (*Secale cereale* L.) est une céréale de la famille des graminées (ITIS Report, 2019) probablement originaire du sud de l'Europe ou du Moyen-Orient (Oelke *et al.*, 1990). Cette plante

est très proche génétiquement du blé et de l'avoine, mais moins cultivée (Arendt et Zannini, 2013). En effet, le seigle ne représente qu'environ 1% de la production de céréale mondiale, et sa culture est plus populaire dans les régions où le pain de seigle est consommé (Ukraine, Pologne, etc.) (Arendt et Zannini, 2013). En plus d'être cultivée pour ses grains, cette plante peut aussi être utilisée comme culture de couverture, ou intégrée à des prairies ou des pâturages (Oelke *et al.*, 1990).



Figure 4: Des plants de seigle près de la maturité (Robert, 2017b).

Le seigle est plus adapté aux conditions hivernales, s'adapte mieux aux sols peu fertiles et est plus tolérant à plusieurs ravageurs que le blé (Arendt et Zannini, 2013 et Oelke *et al.*, 1990). Grâce à son système racinaire développé et à sa capacité à adapter sa physiologie pour entreposer l'eau, le seigle peut également croître dans des conditions de sécheresse (Arendt et Zannini, 2013). D'autre part, le seigle pousse mieux dans des sols sableux ou bien drainés (Hayes, 2005).

Bénéfices et mises en garde d'utilisation comme culture de couverture

L'un des avantages du seigle est qu'il peut être semé plus tard que la plupart des cultures de couvertures et être tout de même très bénéfique pour le sol (Clark, 2007). En effet, cette plante peut germer à des températures aussi froides que -1 à 2°C, et croit à une température de minimum

4°C (Hayes, 2005). Elle assure donc une bonne couverture du sol pour l'hiver, en plus de survivre à des températures très froides (Hayes, 2005). Le seigle est également une excellente culture de couverture pour absorber l'azote et le rendre disponible aux prochaines cultures (Hayes, 2005 et Clark, 2007). Par contre, l'azote retenu par le seigle sera immobilisé et ne sera donc pas disponible immédiatement (Clark, 2007). Une étude publiée en 2018 montre que le seigle en culture de couverture réduit considérablement la perte d'azote et est un bon outil pour la gestion de ce nutriment en champ (Snapp et Surapur, 2018). De plus, le système racinaire du seigle permet d'augmenter la rétention des phosphates dans le sol (Robert, 2017b).

Cependant, il est important de noter que le seigle survit à l'hiver et n'est donc pas tué naturellement. Un contrôle par des herbicides ou mécanique est donc nécessaire et peut représenter un défi, surtout en production biologique (Clark, 2007). C'est aussi une espèce sensible à l'ergot, une maladie touchant les céréales et une bonne rotation est donc nécessaire (Arendt et Zannini, 2013).

Effet herbicide

L'une des propriétés intéressantes du seigle comme culture de couverture est son effet allélopathique. En effet, cette culture de couverture peut servir d'outil de lutte aux mauvaises herbes par la production de composés allélopathiques, mais aussi en agissant comme une barrière physique empêchant la croissance des mauvaises herbes. L'allélopathie du seigle est principalement due à la sécrétion de métabolites phytotoxiques phénoliques (Schulz *et al.*, 2013 et Mwaja *et al.*, 1995).

Plusieurs études menées en serres et en laboratoires ont montré l'effet de ces composés sur les mauvaises herbes (Mwaja *et al.*, 1995, Weston, 1996, Putman *et al.*, 1982). Selon Schulz *et al.* (2013), le seigle sécrète différentes formes d'acides féruliques qui s'accumulent dans l'épiderme de la plante. Les benzoxazinones, plus particulièrement le DIBOA, sont aussi des métabolites secondaires importants qui s'accumulent dans le mésophylle. Certains cultivars sécrètent plus de phénols que d'autres et peuvent donc être sélectionnés pour être cultivés spécifiquement pour la lutte aux mauvaises herbes (Weston et Duke, 2003). Les benzoxazinones sont relâchés lors de la décomposition des résidus de la plante (Friebe, 2008). D'autres composés allélopathiques sont sécrétés par les racines du seigle et font en sorte que le seigle a également un effet suppressif lorsqu'il est vivant (Friebe, 2008).

Selon Weston (1996), le seigle réduit significativement la quantité de mauvaises herbes à larges feuilles annuelles. En effet, Putman *et al.* (1982) ont également démontré en laboratoire que le seigle réduisait le taux de germination de l'herbe à poux, de l'amarante, du pourpier, et de la sétaire. La même étude montre que les résidus de seigle laissés en champs ont permis de réduire de 90% en moyenne la biomasse de mauvaises herbes. Leroux (2011) a obtenu des résultats similaires en champs. La présence d'un paillis de seigle a permis la réduction du chénopode blanc, de la sétaire géante, du laiteron rude, du pied-de-coq et de la renouée persicaire (Leroux, 2011). Une autre étude menée en champs en Alberta par Moyer *et al.* (2000) a également révélé que l'utilisation du seigle comme culture de couverture réduisait significativement la quantité de mauvaises herbes. Les résidus de seigle laissés au sol ont empêché la germination des mauvaises herbes. Selon leurs résultats, le seigle semé en automne et laissé en champ comme engrais vert a eu une efficacité comparable à l'utilisation d'herbicides (Moyer *et al.*, 2000). Une étude menée au Québec en 2004 et en 2005 a conclu que le seigle pouvait réduire jusqu'à 82% la biomasse de mauvaises herbes en comparaison aux champs laissés en jachère l'hiver (Buhler, 2009). L'effet suppressif du seigle a été observé plus particulièrement sur les dicotylédons annuels, mais l'effet était moins grand sur les graminées et les dicotylédons vivaces (Buhler, 2009). Des résultats similaires ont été obtenus dans une étude faite au CÉTAB en 2009 et en 2010 en régie biologique (Leblanc *et al.*, 2011). En 2010, la présence d'un paillis de seigle a réduit de quatre fois la biomasse de mauvaises herbes. Son efficacité a été comparable au sarclage, l'une des méthodes les plus utilisées en régie biologique présentement. Cependant, cette même étude n'a obtenu aucun résultat significatif en 2009 (Leblanc *et al.*, 2011).

Les conditions environnementales jouent un rôle important sur la toxicité du seigle et de ses résidus sur les mauvaises herbes. En effet, selon Mwaja *et al.* (1995), la fertilité du sol a un impact important sur l'inhibition de la croissance des mauvaises herbes: celle-ci serait plus basse dans des sols très fertiles. Moyer *et al.* (2000) ont également constaté une variation de l'effet pesticide du seigle en fonction des conditions environnementales de la saison de culture.

Le seigle utilisé comme culture de couverture peut également avoir un effet sur la culture principale (Hayes, 2005). La rotation doit donc être planifiée en conséquence. Leroux (2011) a observé un retard de croissance des plants de soya semés dans un paillis de seigle. Cependant, ce retard n'a pas eu d'impact sur les rendements de soya à la fin de la saison.

Le seigle peut également être utilisé en culture de couverture pour réduire l'incidence de certaines maladies et nématodes. Par exemple, une étude menée en Illinois a montré que le seigle réduisait la présence de *Rhizoctonia* (pourriture des racines) et la quantité d'oeufs de nématodes à kyste dans le soya (Wen *et al.*, 2017).

Pour conclure, le seigle est une culture de couverture très prometteuse vu son effet allélopathique répressif marqué sur les mauvaises herbes. Elle a aussi le potentiel de réduire certaines maladies et certaines populations de nématodes. Cette plante est également très adaptée au climat québécois et a le potentiel de produire une grande biomasse. Avec la promotion de l'utilisation des cultures de couverture au Québec, la quantité de seigle cultivée augmentera certainement dans les prochaines années.

Aspects techniques en vue d'une potentielle utilisation au Québec

Considérant la facilité d'implantation de cette céréale, le seigle peut être semé après la récolte de la culture principale (Hayes, 2005). Le seigle doit être planté à une profondeur de maximum 2.5 cm (Clark, 2007 et Robert, 2017a). Des taux de semis entre 67 et 134 kg/ha peuvent être recommandés avec un semoir conventionnel ou entre 100 et 180 kg/ha, à la volée (Clark, 2007). Le coût d'implantation du seigle en culture de couverture est estimé à environ 80 à 170\$/ha (Robert, 2017a). Le prix des semences pour les cultivars les plus utilisés au Canada varient entre 23 et 25\$/25kg (Robert, 2017b). En général, les semences de seigle sont peu dispendieuses et faciles à trouver au Canada (Hayes, 2005).

Au printemps, une faible dose de glyphosate ou autres herbicides auxquels le seigle est sensible peut être utilisée afin d'éliminer le seigle (Hayes, 2005). Cette méthode est la plus efficace dans un système sans labour (Buhler, 2009). Pour un contrôle mécanique, le seigle peut être fauché ou plié à l'aide d'un rouleau-crêpeur juste avant la floraison, afin d'éviter que la plante ne se reproduise, mais après la fin de la croissance végétative (Hayes, 2005 et Buhler, 2009). Considérant que la plupart des recherches québécoises ont été faites sans travail du sol, les recommandations formulées sont adaptées à ce type de système.

Moutardes

Présentation générale de l'espèce

La moutarde est une plante annuelle printanière de la famille des Brassicaceae originaire de la région méditerranéenne en Europe (Snapp *et al.*, 2006). Le terme moutarde peut s'appliquer à plusieurs espèces botaniques (Chen *et al.*, 2012). Au Canada, les principales sortes de moutarde cultivées, en grande majorité dans les prairies, sont la moutarde blanche ou jaune (*Sinapis alba*), la moutarde brune, indienne ou orientale (*Brassica juncea*) et la moutarde noire (*Brassica nigra*). Le pays est d'ailleurs le premier exportateur et le deuxième producteur mondial de graines de moutarde (AAC, 2011).



Figure 5 : Représentation de la moutarde brune

Ces trois espèces de moutarde possèdent une saison de croissance relativement courte soit entre 81 et 95 jours et une excellente résistance aux températures froides. Les moutardes possèdent aussi des racines pivotantes assez profondes pouvant atteindre 150 cm en conditions de sécheresse les rendant ainsi très tolérantes aux climats secs (Snapp *et al.*, 2006). En plus d'être cultivée pour la transformation alimentaire, la moutarde peut aussi être utilisée comme biocarburant, afin d'en faire des biopesticides et des engrais ou encore, comme culture de couverture (AAC, 2011).

Bénéfices et mises en garde d'utilisation comme culture de couverture

La saison courte et la résistance au froid des moutardes les rendent intéressantes comme culture de couverture de printemps ou d'automne, soit avant ou après la culture principale (Björkman *et al.*, 2015). Ces plantes produisent aussi beaucoup de biomasse (jusqu'à 8.9 tonnes par hectare), ce qui permet de réduire considérablement l'érosion des sols et de capturer les nutriments. Leurs longues racines leur permettent aussi d'accéder aux éléments minéraux se trouvant hors de la zone racinaire de la majorité des cultures principales. Toutefois, les moutardes utilisées comme cultures de couverture sont principalement utilisées pour contrôler les organismes nuisibles. Considérées comme des fumigants naturels, elles permettent de réduire les pathogènes dans plusieurs cultures maraîchères. Elles sont aussi reconnues pour leurs effets nématocides et herbicides. Faisant partie de la famille Brassicaceae, elles sont aussi une option intéressante de rotation de culture (Chen *et al.*, 2012).

Il est important que les moutardes soient incorporées au sol avant qu'elles montent en graine, car leur croissance rapide peut facilement en faire des mauvaises herbes pour les années subséquentes (Snapp *et al.*, 2006). Leur effet herbicide peut aussi être néfaste pour les grandes cultures si celles-ci sont plantées directement au travers des résidus encore verts de moutarde. Il est également important de noter que l'utilisation de la moutarde comme culture de couverture afin de contrôler les organismes nuisibles est relativement récente et que l'information peut être limitée selon les régions géographiques (Chen *et al.*, 2012).

Effet herbicide

Les moutardes, comme plusieurs autres plantes de la famille des Brassicaceae, ont d'importantes propriétés insecticides, nématocides, fongicides et herbicides. En effet, toutes les parties des plantes de cette famille contiennent des composés chimiques allélopathiques : les glucosinolates. Ces molécules au goût piquant sont seulement actives après avoir été hydrolysées par l'enzyme myrosinase. Toutefois, les glucosinolates sont séparés cellulièrement de la myrosinase et ainsi, les tissus des plantes doivent être rompus pour qu'il y ait hydrolyse de ces molécules et donc, production de composés actifs (Brown and Morra, 1998). Un tel déchirement a lieu lors d'une attaque phytophage ou lorsque les résidus sont coupés, broutés ou enfouis. Le gel et la mort des racines a aussi pour effet de rompre les tissus des Brassicaceae et ainsi, permettre l'hydrolyse des glucosinolates en composés potentiellement pesticides. Les composés dérivés des

glucosinolates sont généralement très volatils. Ils se dispersent facilement dans les sols à la manière des fumigants et ont un effet toxique sur les champignons pathogènes, les insectes et les nématodes. Ils sont d'ailleurs si efficaces qu'ils sont désormais désignés comme étant des «biofumigants» et sont utilisés comme remplacement au bromure de méthyle: un fumigant chimique très toxique maintenant interdit au Canada (Brown and Morra, 1998; Gouvernement du Canada, 2019). Les moutardes, jaune (*Sinapis alba*), brune (*Brassica juncea*) et noire (*Brassica nigra*) ont habituellement des contenus élevés en glucosinolates (Haramoto and Gallandt, 2004). Ainsi, dans les dernières années, plusieurs études ont confirmé l'efficacité des cultures de couverture de moutarde sur le contrôle des ravageurs (insectes et nématodes) et sur les champignons pathogènes (Haramoto and Gallandt, 2004). Toutefois, plus récemment, des études ont aussi démontré que les moutardes peuvent aussi avoir un effet répressif sur les mauvaises herbes et ces résultats seront synthétisés ci-contre dans une perspective d'application au Québec.

L'effet herbicide des moutardes a été étudié par plusieurs chercheurs en laboratoire et en serre. À partir de la fin des années 80, plusieurs chercheurs démontrent déjà que les moutardes ont un effet répressif sur la germination et le développement des semences d'autres plantes témoins (Mason-Sedun *et al.*, 1986; Oleszek, 1987; Brown and Morra, 1996). Ainsi, en 1987, Oleszek a conclu que les composés volatils relâchés par les résidus de feuilles des moutardes brunes (*B. juncea*) et noires (*B. nigra*) ont retardé la germination et la croissance de la laitue, de la mauvaise herbe *Échinochloa* pied-de-coq et du blé de façon plus marquée que d'autres crucifères étudiées (colza, le navet potager, le chou frisé, etc.). Selon ces résultats, les résidus de moutarde brune auraient empêché la germination de 89% des graines de laitue et, la moutarde noire, de 100%. (Oleszek, 1986). En 2003, Turk et Tawaha ont réalisé une série d'expériences à l'aide d'extraits de feuilles de moutarde noire sur la folle avoine, une mauvaise herbe aussi présente au Québec. Ils ont observé que la germination et la longueur de la radicule de la folle avoine diminuaient plus la concentration d'extrait de moutarde noire était élevée (jusqu'à 56% de diminution de germination pour une concentration de 20g/kg d'extraits de feuilles de moutarde). Ils ont aussi observé que les feuilles étaient la partie des plants de moutarde ayant le plus grand potentiel herbicide. Leurs essais en serre ont montré une réduction significative du pourcentage de germination, de la hauteur des plants et de la masse sèche des plants de folle avoine plantés dans les pots où des résidus de moutarde noire avaient été incorporés préalablement (Turk and Twaha, 2003).

À partir de la fin des années 90, plusieurs expériences ont ensuite tenté d'évaluer l'effet herbicide des résidus de moutardes mélangés au sol en champs (Haramoto and Gallandt, 2004). En 1997, Al-Khatib *et al.* ont démontré, lors d'une étude de deux ans réalisée dans des champs de petits pois, que l'incorporation d'une culture de couverture de moutarde jaune (*Sinapis alba*) plantée à l'automne précédent réprimait la croissance hâtive de 30% des populations de mauvaises herbes. Dans leur revue de littérature sur le sujet, Haramoto et Galland (2004) concluent que l'effet herbicide des cultures de couverture de Brassicaceae est surtout marqué sur l'établissement des mauvaises herbes plutôt que sur leur croissance. Toutefois, les résultats des études réalisées en champs sont souvent contradictoires dû aux différences de régie de culture, aux interactions entre les plantes de couvertures et les cultures principales et aux conditions édaphiques (Haramoto and Galland, 2004). Plus récemment, Kumar *et al.* (2009) ont conduit une expérience étalée sur deux ans dans l'État de New York aux États-Unis afin de déterminer l'efficacité de différentes cultures de couverture à contrôler le Galinsoga cilié, une mauvaise herbe commune, dans les champs de légumes. Les cultures de couverture (sarrasin, moutarde brune, moutarde jaune et avoine) ont été plantées au printemps (en mai), puis incorporées (début juin), avant les cultures maraîchères. Durant leur première année d'essais, seule la moutarde jaune a réprimé l'émergence de Galinsoga cilié, et ce de 53% durant la saison de croissance des cultures maraîchères. L'année suivante, les quatre cultures de couverture ont eu un effet répressif sur la mauvaise herbe. La moutarde jaune s'est cependant encore démarquée en réprimant le plus l'émergence de Galinsoga cilié (62%), suivie par la moutarde brune (52%) (Kumar *et al.*, 2009). En 2015, une autre étude réalisée sur 3 ans dans la région des Grands Lacs aux États-Unis (États de l'Illinois, du Michigan et de New York) a tenté d'évaluer l'effet répressif des cultures de couvertures de moutarde jaune et brune plantées au printemps et à l'automne sur les mauvaises herbes (Björkman *et al.*, 2015). Les chercheurs ont observé que les cultures de couvertures de moutardes plantées à l'automne ont entraîné une diminution de mauvaises herbes variant de 60 à 90% dans 90% des sites, alors que celles plantées au printemps ont entraîné une diminution de mauvaises herbes supérieure à 50% dans seulement 55% des sites. En analysant leurs résultats de biomasse produite, ils concluent aussi qu'il n'y a pas de relation entre celle-ci et la date de semis des moutardes. Ainsi, ils recommandent de planter la moutarde à l'automne, après le blé ou les légumes, ce qui permettrait d'obtenir un plus grand contrôle des mauvaises herbes durant la saison de croissance suivante. De plus, les plants de moutarde tués par le froid hivernal nécessitent moins de travail de sol au

printemps suivant (Björkman *et al.*, 2015). La même année, l'IRDA débute aussi des essais de culture de couverture de moutarde brune et d'avoine afin de vérifier leur effet sur la levée des mauvaises herbes au Québec (Lefebvre et Leblanc, 2018a). Selon leurs résultats, les couverts végétaux de moutarde semés au printemps et à l'automne, puis hachés à la floraison et enfouis dans le sol ont permis de réduire significativement l'émergence des mauvaises herbes seulement la deuxième année et la troisième année. Les deux chercheurs ont aussi noté que l'effet herbicide était plus grand lorsque le potentiel biofumigant de la moutarde était plus grand (Lefebvre et Leblanc, 2018b).

En conclusion, il semble que les cultures de couvertures de moutardes, brunes, jaunes ou noires possèdent un effet allélopathique biofumigant pouvant s'avérer efficace non seulement pour contrôler les pathogènes et insectes dans le sol, mais aussi pour contrôler les mauvaises herbes.

Aspects techniques en vue d'une potentielle utilisation au Québec

Les taux de semis recommandés pour les cultures de couverture de moutarde brune au Québec et en Ontario varient entre 4.5 et 9 kg/ha avec un semoir à une profondeur de 0,6 à 2 cm. Les moutardes peuvent aussi être semées à la volée. Le cas échéant, il est important de prévoir 25% plus de semences à l'hectare (Cover Crops Decision Tool, 2019). Lorsque plantées comme culture de couverture à l'automne, il est toutefois important d'augmenter le taux de semis.

La moutarde peut être plantée soit avant la culture principale, soit après. Au Québec, en raison de la saison de croissance plutôt courte, il est souvent plus facile d'atteindre le stade de pleine floraison par la réalisation de semis printaniers. Ce stade doit être atteint afin d'obtenir une quantité maximale de glucosinolates dans les plants et ainsi, un effet biofumigant et herbicide maximal (Lefebvre et Leblanc, 2018b). Toutefois, Björkman *et al.* (2015) recommandent de semer les cultures de couverture de moutarde à l'automne pour obtenir un contrôle optimal des mauvaises herbes l'été suivant. Suite à leurs expériences, ils ont réussi à développer un modèle de dates de semis de la moutarde brune et jaune permettant un développement adéquat avant enfouissement. Selon leur modèle, on peut extrapoler en se basant sur les recommandations faites pour le Vermont et le Maine et suggérer des dates d'ensemencement entre le 20 et 31 août pour les régions les plus au sud du Québec (Montérégie). Les régions plus au nord de la province devront envisager de semer un peu plus tôt.

Les plants de moutarde devraient être fauchés en floraison, puis hachés et incorporés immédiatement afin de permettre aux glucosinolates d'être libérés et ainsi, augmenter l'effet pesticide de la culture de couverture. Il est aussi important que le sol soit humide, afin d'éviter la volatilisation des composés allélopathiques étant plutôt volatils (Snapp *et al.*, 2006) .

Plusieurs variétés de moutardes pour une utilisation en culture de couverture sont disponibles. Dans leur expérience, Lefebvre et Leblanc (2018a) ont utilisé la variété de moutarde brune *Brassica juncea* var. Caliente 199. Selon une présentation du MAPAQ, le coût des semences d'une culture de couverture tournerait autour de 20\$/ha (Thibeaudeau, 2018).

Références

- AAC. 2011. La promotion de la moutarde canadienne. Agriculture et Agroalimentaire Canada, Ottawa, Canada. Disponible depuis:
<https://www.google.com/search?q=agriculture+et+agroalimentaire+canada&oq=agriculture+et+agroalimentaire+cnanda&aqs=chrome.1.69i57j0l5.9057j0j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8> (accédé le 26 mars 2019)
- Al-Khatib, K., Libbey, C., and Boydston, R. 1997. Weed suppression with Brassica green manure crops in green pea. *Weed Science* 45:439–445.
- Alsaadawi, I.S., et F.E. Dayan. 2009. Potentials and prospects of sorghum allelopathy in agroecosystems. *Allelopathy journal*. 24(2): 255–270.
- Arendt, E.K. et E. Zannini. 2013. Rye. Cereal grains for the food and beverage industries. Woodhead Publishing, Sawston, UK. 220-243.
- Bélangier, P., O. Lalonde, M.N. Thivierge et A. Vanasse. 2018. Sorgho sucré – Guide de production. Réseau des plantes bio-industrielles du Québec (RPBQ), Saint-Mathieu-de-Beloil, Qc. <https://www.agrireseau.net/documents/97518/sorgho-sucre-guide-de-production> (20 février 2019)
- Björkman, T. et J. W. Shail. 2010. Cornell cover crop guide for sudangrass. Cornell University, Ithaca, NY.
<http://www.hort.cornell.edu/bjorkman/lab/covercrops/pdf/sudangrass.pdf> (20 février 2019)
- Björkman, T., C. Lowry, J.W., Shail, Jr., D.C. Brainard, D.S. Anderson and J.B. Masiunas. 2015. Mustard cover crop for biomass production and weed suppression in the Great Lakes région. *Agronomy Journal*: 107(4): 1235–1249
- Brown, P.D. and M. J. Morra. 1997. Control of soil-borne plant pests using glucosinolate-containing plants. *Advances in Agronomy* 61:167–231.

- Brown, P.D. and M.J. Morra. 1996. Hydrolysis products of glucosinolates in *Brassica napus* tissues as inhibitors of seed germination. *Plant and Soil* 181:307–316.
- Buhler, S. 2009. Utilisation du seigle d'automne (*Secale cereale*) comme culture de couverture dans la lutte contre les mauvaises herbes dans la citrouille (*Cucurbita pepo*) au Québec. Faculté des sciences de l'agriculture et de l'alimentation de l'université Laval, Québec, Qc. <https://corpus.ulaval.ca/jspui/bitstream/20.500.11794/21027/1/26258.pdf> (Consulté le 5 avril 2019)
- Cheema, Z. A., A. Khaliq et R. Hussain. 2003. Reducing herbicide rate in combination of allelopathic sorgaab for weed control in cotton. *International journal of agriculture and biology*. 5(1): 4–6.
- Cheema, Z. A., and A. Khaliq. 2000. Use of sorghum allelopathic properties to control weeds in irrigated wheat in a semi arid region of Punjab. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 79 (2–3): 105–112.
- Chen, G., A. Clark, A. Kremen, Y. Lawley, A. Price, L. Stocking, and R. Weil. 2015. Brassicas and mustard for cover cropping in organic farming. *E Organic*: 2554. Available at: <https://articles.extension.org/pages/18643/brassicas-and-mustards-for-cover-cropping-in-organic-farming> (accessed March 26, 2019)
- Chon, S.U., Y. M. Kim and J. C. Lee. 2003. Herbicidal potential and quantification of cuasative allelochemicals from several *Compositae* weeds. *Weed Research*, 43: 444-450
- Clark, A. 2007. Managing cover crops profitability, third edition. Sustainable Agriculture Network, Beltsville, MD. <https://www.sare.org/publications/covercrops/covercrops.pdf> (Consulté le 24 mars 2019)
- Coelho, B. B., K. Callow, R. Nurse, D. L. Benoit, D. Bernier. 2011. Production maraîchère : utilisation des cultures de couverture pour la lutte intégrée contre les mauvaises herbes. Agriculture et agroalimentaire Canada, Ottawa, ON. <https://www.agrireseau.net/documents/81000/production-maraichere-utilisation-des-cultures-de-couverture-pour-la-lutte-integree-contre-les-mauvaises-herbes> (2 mars 2019).
- Cover Crops Decision Tool. 2019. Information sheet - Mustard, Oriental in Québec Vegetable Crops. Eastern Canada cover crop selector tool. Available at: <http://decision-tool.incovercrops.ca/plant/id/162> (accessed April 4, 2019)
- Dayan, F. E., A.M. Rimando, Z. Pan, S. R. Baerson, A.L. Gimsing, et S.O. Duke. 2010. Sorgoleone. *Phytochemistry*. 71(10): 1032–1039.
- de Almeida Barbosa, L.C., M. L. Ferreira, A. J. Demuner, A.A. da Silva, et R. de Cassia Pereira. 2001. Preparation and phytotoxicity of sorgoleone analogs. *Quimica Nova*. 24(6).

- Dial, H.L. 2013. Plant guide for sorghum (*Sorghum bicolor* L.). United States Department of Agriculture, Tucson, AZ. https://plants.usda.gov/plantguide/pdf/pg_sobi2.pdf
- Duiker, S.W., W. S. Curran and R. S. Gallagher. 2010. Hairy vetch as a cover crop. Penn State Extension. The Pennsylvania State university, PA, USA. Available at: <https://extension.psu.edu/hairy-vetch-as-a-crop-cover> (accédé le 25 février 2019)
- Einhellig, F.A., et I.F. Souza. 1992. Phytotoxicity of sorgoleone found in grain sorghum root exudates. *Journal of Chemical Ecology*. 18(1): 1–11.
- Einhellig, F.A., et J.A. Rasmussen. 1989. Prior cropping with grain sorghum inhibits weeds. *Journal of Chemical Ecology*. 15(3): 951–960.
- Ercoli, L., A. Masoni, S. Pampana and I. Arduini. 2007. Allelopathic effects of rye, brown mustard and hairy vetch on redroot pigweed, common lambsquarter and knotweed. *Allelopathy Journal*, 19, 249–256.
- Friebe, A. 2008. Role of benzoxazinones in cereals. *Journal of crop production*. 4 (2): 379-400.
- Fujii, Y. 2001. Screening and future exploitation of allelopathic plants as alternative herbicides with special reference to hairy vetch. *Journal of Crop Production*. 4:2, 257–275, DOI: 10.1300/J144v04n02_09
- Geddes, C.M., A. Cavalieri., F. Daayf. and R.H.Gulden, R.H. 2015. The allelopathic potential of hairy vetch (*Vicia villosa* roth.) mulch. *American Journal of Plant Sciences*, 6: 2651-2663. <http://dx.doi.org/10.4236/ajps.2015.616267>
- Gouvernement du Canada. 2019. Règlement sur les substances appauvrissant la couche d’ozone et les halocarbures de remplacement (DORS/2016-137). Partie 2. Bromure de méthyl (continué). Disponible depuis: <https://laws-lois.justice.gc.ca/fra/reglements/DORS-2016-137/page-3.html> (accédé le 29 mars 2019)
- Gouvernement du Québec. 2011. Stratégie phytosanitaire québécoise en agriculture. Disponible depuis: https://cdn-contenu.quebec.ca/cdn-contenu/adm/min/agriculture-pecherie-alimentation/publications-adm/strategie/PO_strategie_phytosanitaire_MAPAQ.pdf?1546023858 (accédé le 5 avril 2019)
- Halde, C., G.H. Gulden and M. H. Entz. 2014. Selecting cover crop mulches for organic rotational no-till systems in Manitoba, Canada. *Agronomy Journal*, 106, 1193–1204. <http://dx.doi.org/10.2134/agronj13.0402>
- Haramoto, E.R. and E.R. Gallandt. 2004. Brassica cover cropping for weed management: A review. *Renewable Agriculture and food Systems*: 19(4): 187-198

- Hayes, A. 2005. Culture couvre-sol: le seigle. Ontario Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, Guelph, On.
http://www.omafra.gov.on.ca/french/crops/facts/cover_crops01/rye.htm (Consulté le 25 mars 2019)
- Hoffman, M.L. E.E Regnier and J. Cardina. 1993. Weed and corn (zea mays) responses to hairy vetch (*Vicia villosa*) cover crop. Weed Science Society of America. 7 (3) 594–599
- ITIS Report. 2019. *Secale cereale* L. Integrated Taxonomic Information System, USA.
https://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt?search_topic=TSN&search_value=42090#null (Consulté le 24 mars 2019)
- Kamo, T., K. Kato, S. Hiradate, E. Nakajima, Y. Fujii, and M. Hirota. 2006. Evidence of cyanamide production in hairy vetch *vicia villosa*. Natural Product Research, 20: 429-433.
<http://dx.doi.org/10.1080/14786410500143583>
- Kamo, T., S. Hiradate and Y. Fujii. 2003. First isolation of natural cyanamide as a possible allelochemical from hairy vetch. Journal of Chemical Ecology, 29: 275-283.
<http://dx.doi.org/10.1023/A:1022621709486>
- Kumar, V., D.C. Brainard, and R.R. Bellinder. 2009. Kumar, V., D.C. Brainard, and R.R. Bellinder. 2009. Effects of springsown cover crops on establishment and growth of hairy galinsoga (*Galinsoga ciliata*) and four vegetable crops. HortScience 44:730–736. HortScience 44:730–736.
- Lamarre, G. 2016. Nouveaux développements dans les cultures intercalaires et cultures de couverture. Ministère de l’agriculture, des pêcheries et de l’alimentation, Québec, Qc.
<https://www.mapaq.gouv.qc.ca/fr/Regions/monteregie/articles/production/Pages/culturesintercalairesetculturesdecouverture.aspx> (28 février 2019).
- Leblanc, M., M. Lefebvre, P.A. Gilbert, B. Estevez, M. Grenier et L. Belisle. 2011. Semis de soya sur un paillis roulé de seigle en régie biologique. Ministère de l’agriculture, des pêcheries et de l’alimentation du Québec, Québec, Qc.
<https://www.agrireseau.net/documents/82414/semis-direct-sur-paillis-de-seigle-roule-en-regie-biologique> (Consulté le 5 avril 2019).
- Lefebvre, M. et Leblanc, M. 2018 a. Impact de la biofumigation sur la levée printanière des mauvaises herbes. Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA), Québec, Qc. Disponible depuis: https://irda.blob.core.windows.net/media/4732/lefebvre-m-et-m-leblanc_2018_impact-de-la-biofumigation-sur-la-leeve-printaniere-des-mauvaises-herbes.pdf (accédé le 3 avril 2019)
- Lefebvre, M. et Leblanc, M. 2018 b. Interférence de la moutarde biofumigante avec les mauvaises herbes. Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA),

Québec, Qc. Disponible depuis: <https://irda.blob.core.windows.net/media/4789/lefebvre-m-et-m-leblanc-2018-interference-de-la-moutarde-biofumigante-avec-les-mauvaises-herbes.pdf> (accédé le 3 avril 2019)

- Leroux, G. D., S. Buhler et M. Proulx. 2011. Évaluation des cultures de couverture de vesce velue et de seigle d'automne et du rouleau crêpeur comme méthodes de désherbage dans la production biologique de maïs sucré, soya et blé panifiable—Saisons 2007–2010. Rapport final, Projet #PSDAB 07 -BIO-35. Disponible depuis : <https://www.agrireseau.net/agriculturebiologique/documents/Rapport%20final%20PSDAB-GDLvp.pdf> (accédé le 3 mars 2019).
- Mason-Sedun, W., R. Jessop., and J. Lovett. 1986. Differential phytotoxicity among species and cultivars of the genus *Brassica* to wheat. *Plant and Soil* 93:3–16.
- Moyer, J.R., R.E. Blackshaw, E.G. Smith, et S.M. McGinn. 2000. Cereal cover crops for weed suppression in a summer fallow-wheat cropping sequence. *Canadian Journal of Plant Science*. 80(2). 441-449.
- Mwaja, V.N., J.B. Masiunas, et L.A. Weston. 1995. Effect of fertility on biomass, phytotoxicity and allelochemical content of cereal rye. *Journal of Chemical Ecology*. 21(1): 81-96.
- Nimbal, C.I., J.F. Pedersen, C.N. Yerkes, L.A. Weston, et S.C. Weller. 1996. Phytotoxicity and distribution of sorgoleone in grain sorghum germplasm. *Journal of agricultural food chemistry*. 44: 1343-1347.
- Oelke, E.A., E.S. Oplinger, H. Bahri, B.R. Durgan, D.H. Putman, J.D. Doll, et K.A. Kelling. 1990. Rye. *Alternative field crops manual*. University of Minnesota et University of Wisconsin, Madison, WI. <https://hort.purdue.edu/newcrop/afcm/rye.html> (Consulté le 24 mars 2019)
- Oleszek, W. 1987. Allelopathic effects of volatiles from some Cruciferae species on lettuce, barnyard grass and wheat growth. *Plant and Soil* 102:271–273.
- OMAFRA. 2017. Hybride Sorgho-Soudan utilisé comme fourrage. Fiche technique. Ministère de l'agriculture, de l'alimentation et des affaires rurales, gouvernement de l'Ontario, Guelph, On. <http://www.omafra.gov.on.ca/french/crops/facts/98-044.htm> (20 février 2019).
- Putman, A.R., J. DeFrank, J.P. Barnes. 1982. Exploitation of allelopathy for weed control in annual and perennial cropping systems. *Journal of chemical ecology*. 9(8): 1001-1010.
- Putnam, A.R., et J. DeFrank. 1983. Use of phytotoxic plant residues for selective weed control. *Crop protection*. 2(2):173–181.
- Robert, L. 2017a. Le seigle d'automne: culture de couverture, fourragère, plante-abri et céréalière. Ministère de l'agriculture, des pêcheries et de l'alimentation du Québec, Québec,

Qc.

https://www.mapaq.gouv.qc.ca/fr/Regions/monteregion/articles/production/Pages/Seigle_auto_mne.aspx (Consulté le 26 mars 2019)

Robert, L. 2017b. Le seigle d'automne, une culture nettoyante. Ministère de l'agriculture, des pêcheries et de l'alimentation du Québec, Rivière-du-Loup, Qc.
<https://www.mapaq.gouv.qc.ca/SiteCollectionDocuments/Regions/BasSaintLaurent/seigleautomneculturenettoyantedixsept.pdf> (Consulté le 26 mars 2019)

Schulz, M., A. Marocco, V. Tabaglio, F.A. Macias, et J.M. Molinillo. 2013. Benzoxazinoids in rye allelopathy - from discovery to application in sustainable weed control and organic farming. *Journal of Chemical Ecology*. 39(2): 154-174.

Snap, S., K. Date, K. Cichy and K. O'Neil. 2006. Mustards - a brassica cover crop for Michigan. Extension Bulletin E-2956. Michigan State University, MI, USA. Available at: [https://www.canr.msu.edu/uploads/resources/pdfs/mustards_-_a_brassica_cover_crop_for_michigan_\(e2956\).pdf](https://www.canr.msu.edu/uploads/resources/pdfs/mustards_-_a_brassica_cover_crop_for_michigan_(e2956).pdf) (accessed March 26, 2019)

Snapp, S. et S Surapur. 2018. Rye cover crop retains nitrogen and doesn't reduce corn yields. *Soil and Tillage Research*. 180: 107-115.

Teasdale, J. R. and C. S. T. Daughtry. 1993. Weed suppression by live and desiccated hairy vetch (*Vicia villosa*). *Weed Science Society of America*. 41(2): 207–212

Teasdale, J. R., A.A. Abdul-Baki, Y. B. Park and R. C. Rosecrance. 2007. The potential for allelopathy during decomposition of hairy vetch residue. In: Fujii, Y. and Parvex, M.M., Eds., *Allelopathy: Concepts and Methodology*, Science Publishers, Enfield, 211–225.

Thibaudeau, S. 2018. Pourquoi et comment intégrer les cultures de couverture dans la rotation. MAPAQ, Québec, Qc. Disponible depuis: https://www.mapaq.gouv.qc.ca/SiteCollectionDocuments/Regions/CentreduQuebec/INPAC/Q2019/Conferences-Grandescultures/Conference_Sylvie_Thibaudeau.pdf (accédé le 3 avril 2019)

Turk, M.A. and A.M. Tawaha. 2003. Allelopathic effect of black mustard (*Brassica nigra* L.) on germination and growth of wild oat (*Avena fatua* L.). *Crop protection* 22: 673-677.

Undersander, D.J., N.J. Ehlke, A.R. Kaminski, J.D. Doll and K.A. Kelling. 1990. Hairy Vetch. *Alternative Field Crops Manual*. University of Minnesota and University of Wisconsin-Madison, Cooperative Extension Service. Available at: <https://hort.purdue.edu/newcrop/afcm/vetch.html> (accédé le 25 février 2019)

Verhallen, A., A. Hayes, T. Taylor. 2001. Cover crops: Sorghum Sudan. Ministère de l'agriculture, de l'alimentation et des affaires rurales, gouvernement de l'Ontario, Guelph,

- On. http://www.omafra.gov.on.ca/english/crops/facts/cover_crops01/sorghum.htm (2 mars 2019).
- Verhallen, A., A. Hayes, et T. Taylor. 2003. Cultures couvre-sol : la vesce velue. OMAFRA. Disponible depuis : http://www.omafra.gov.on.ca/french/crops/facts/cover_crops01/hairyvetch.htm#3 (accédé le 25 février 2019)
- Weill, A. et V. Roy-Fortin. 2014. Évaluation du système racinaire de quatre mélanges d'engrais verts pour réduire la compaction. CÉTAB, Victoriaville, Qc. <https://www.agrireseau.net/documents/90891/rapport-final-evaluation-du-systeme-racinaire-de-quatre-melanges-d-engrais-verts-pour-reduire-la-compaction> (20 février 2019).
- Wen, L., S. Lee-Marzano, L.M. Ortiz-Ribbing, J. Gruver, G.L. Hartman, et D.M. Eastburn. 2017. Suppression of soilborne diseases of soybeans with cover crops. *Plant disease*. 101(11): 1918-1928.
- Weston, L.A. 1996. Utilization of allelopathy for weed management in agroecosystems. *Agronomy Journal*. 88(6): 860-866.
- Weston, L.A. et S.O Duke. 2003. Weed and crop allelopathy. *Critical reviews in plant sciences*. 22(3-4): 367-389.
- Weston, L.A., R. Harmon et S. Mueller. 1989. Allelopathic potential of sorghum-sudangrass hybrid (sudex). *Journal of chemical ecology*. 15(6):1855–1865.

Fiche technique #1

Vesce velue (*Vicia villosa* Roth)

La vesce velue est une plante annuelle, parfois bisannuelle, appartenant à la famille des légumineuses. Elle peut contrôler les mauvaises herbes en produisant une quantité importante de biomasse et en produisant un composé allélopathique nommé cyanamide. L'effet herbicide maximal est obtenu lorsqu'elle est plantée au printemps ou à l'automne précédent et qu'on plante la culture principale au travers.

Bénéfices

- Tolérance à la sécheresse
- Fixation d'azote (jusqu'à 164 kg/ha)
- Bonne tolérance aux températures froides (semis hâtif)
- Environnement propice à plusieurs prédateurs bénéfiques

Mises en garde

- Entortillement des vignes dans les machineries
- Hôte de certaines espèces de nématodes
- Possibilité de compétition avec la culture principale

Aspects techniques

- Taux de semis: entre 20 et 50 kg/ha
- Profondeur de semis: ND
- Coût des semences: entre 2,75 et 4,76 \$/kg.
- Date de semis : Au printemps avant la culture ou à l'automne après la culture (pour l'année suivante)
- Méthode de destruction: Fauchage ou rouleau-crêpeur (à la floraison)
- Coût/ha : entre 70 et 140 \$/ha
- Autre: Adaptée pour le rouleau-crêpeur

Fiche technique #2

Sorgho et sorgho-Soudan (*Sorghum*)

Le sorgho et le sorgho Soudan sont des plantes d'origine tropicale. Grâce à leur production de biomasse élevée, ces plantes étouffent les mauvaises herbes. Elles produisent également un composé appelé sorgoléone qui réduit la photosynthèse des autres espèces, notamment des mauvaises herbes à larges feuilles. Afin d'optimiser l'effet allélopathique, les résidus devraient être laissés en surface.

Bénéfices

- Lutte à la compaction
- Excellente tolérance à la sécheresse
- Lutte aux nématodes (certaines espèces)

Mises en garde

- Adaptés au climat chaud - culture adaptée au sud du Québec, implantation difficile
- Demande en nutriments élevée
- Effet allélopathique possible sur la culture suivante

Aspects techniques

- Taux de semis: 15 kg/ha selon Agriculture Canada, taux variable selon les sources.
- Profondeur de semis: 2 à 5 cm selon le type de sol
- Coût des semences: 4,84\$/kg pour le sorgho fourrager, 1.68\$/kg pour le sorgho-Soudan
- Date de semis : Maximum mi-août, le sol doit être chaud pour la germination
- Méthode de destruction: Détruit par le froid
- Coût/ha : 25\$/ha
- Autre: La température du sol doit être de minimum 12°C pour la germination des graines. Il est préférable d'utiliser le sorgho dans un mélange contenant des légumineuses afin de réduire sa demande en nutriments.

Fiche technique #3

Seigle (*Secale cereale*)

Le seigle est une céréale de la famille des graminées. Lors de leur décomposition, les résidus de seigle sécrètent des composés toxiques pour les autres plantes et peuvent servir pour la lutte aux mauvaises herbes. Les racines du seigle vivant ont également un effet allélopathique. Le seigle en culture de couverture a un potentiel de réduction des mauvaises herbes comparable à l'utilisation d'herbicides ou au sarclage. L'effet allélopathique est plus marqué sur les mauvaises herbes à larges feuilles.

Bénéfices

- Rétention de nutriments
- Tolère la sécheresse
- Bonne croissance à basse température
- Tolérance à plusieurs ravageurs
- Adaptation aux sols peu fertiles
- Lutte à certains nématodes et maladies

Mises en garde

- Grande sensibilité à l'ergot
- Survie à l'hiver
- Rétention des nutriments dans les résidus
- Impact potentiel sur la culture suivante

Aspects techniques

- Taux de semis: 67 à 134 kg/ha avec un semoir conventionnel, 100 à 180 kg/ha à la volée
- Profondeur de semis: Maximum 2.5 cm
- Coût des semences: 0,92 à 1,00\$/kg
- Date de semis : Après la récolte de la culture principale - Le seigle peut croître à des températures aussi froides que 4°C.
- Méthode de destruction: Herbicides, fauchage ou rouleau-crêpeur (fauché ou plié entre la croissance végétative et la floraison)
- Coût/ha : 80 à 170\$/ha
- Autre: Culture assez répandue au Canada, semences faciles à trouver.

Fiche technique #4

Moutardes (*Brassica*)

*Les moutardes appartiennent à la famille des Brassicaceae. Les espèces les plus communes sont la moutarde jaune (*Sinapis alba*), brune ou orientale (*Brassica juncea*) et noire (*Brassica nigra*). Elles sécrètent toutes des glucosinolates, un composé chimique qui a des effets pesticides reconnus. Souvent utilisées en biofumigation contre les pathogènes, elles peuvent aussi avoir un effet herbicide. Cet effet est maximal lorsque les résidus de moutardes sont hachés puis incorporés au sol.*

Bénéfices

- Courte saison de croissance (80 à 95 jours)
- Tolérance à la sécheresse
- Production importante de biomasse (jusqu'à 8.9 tonnes/ha)
- Effets insecticides, fongicides et nématocides

Mises en garde

- Croissance rapide pouvant en faire des mauvaises herbes si mal contrôlées
- Effet herbicide des résidus verts pouvant être dommageable à la culture principale

Aspects techniques

- Taux de semis: entre 4.5 et 9 kg/ha avec semoir (à la volée prévoir 25% plus de semences)
- Profondeur de semis: de 0,6 à 2 cm
- Coût des semences: 20\$/ha
- Date de semis : au printemps ou, préférablement, à l'automne autour de la fin août (Montréal) pour un contrôle maximal des mauvaises herbes à l'été suivant.
- Méthode de destruction: fauchage
- Coût/ha : ND
- Autre: le stade de floraison doit être atteint avant de faucher pour un effet herbicide maximal