

Rapport final réalisé dans le cadre du programme de soutien au développement de l'agriculture biologique; Volet 1 – Appui à l'adaptation technologique et au transfert du savoir-faire pour les exploitations biologiques ou en transition

TITRE DU PROJET :

UTILISATION DE CULTURES À HUILES ESSENTIELLES COMME DÉSHÉRBANT EN PRODUCTIONS VÉGÉTALES BIOLOGIQUES

NUMÉRO DU PROJET : 08-BIO-25

Requérant :

Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA inc.)

Maxime Lefebvre, M.Sc.
Maryse Leblanc, agr., Ph.D
Stéphanie Tellier, agr., M.Sc.
Pierre-Antoine Gilbert, agr., M.Sc.

Date du dépôt : 21 mars 2012

Date prévue de fin de projet : 31 mars 2012

UTILISATION DE CULTURES À HUILES ESSENTIELLES COMME DÉSHÉRBANT EN PRODUCTION VÉGÉTALE BIOLOGIQUE

Maxime Lefebvre, Maryse Leblanc, Stéphanie Tellier et Pierre-Antoine Gilbert

Durée : Janvier 2009 à mars 2012

DESCRIPTION DU PROJET

Le désherbage des cultures maraîchères représente une activité consommant beaucoup de temps et d'argent en agriculture biologique. Plusieurs espèces végétales synthétisent des molécules capables d'inhiber la germination et la croissance des plantes avoisinantes (Chou, 1999; Bohren et Delabays, 2005). Ce phénomène nommé allélopathie offre des perspectives prometteuses pour la gestion des mauvaises herbes. L'allélopathie peut être directe, par la culture de plantes vivantes, ou indirecte par le dégagement de produits lors de la décomposition des plantes. Les composés naturels présents dans certaines plantes pourraient être mis à profit avec succès comme bioherbicides (Dudai et al, 1999), par exemple, par l'utilisation de ces plantes comme culture d'enfouissement ou culture intercalaire. Plusieurs espèces appartenant à la famille des labiées produisent des huiles essentielles contenant des composés pouvant agir comme des herbicides naturels. Ce projet propose une nouvelle stratégie de désherbage en utilisant l'effet allélopathique de certaines cultures à huiles essentielles dans différentes cultures témoins. Cette étude qui compte quatre volets, a permis de déterminer 1) l'effet désherbant de leur biomasse sèche ou fraîche incorporée au sol, 2) l'effet de leur utilisation comme culture intercalaire, 3) l'effet du muka (résidus de plantes aromatiques après l'extraction d'une partie des huiles essentielles) utilisé comme paillis et 4) l'effet anti-germinatif de l'huile. Le premier et le dernier volet ont fourni des informations importantes afin de comprendre l'effet allélopathique des plantes et de l'huile contenu dans ces plantes. Le deuxième et le troisième volet représentent des utilisations possibles des plantes aromatiques au niveau de la ferme comme méthodes de lutte contre les mauvaises herbes. Nous avons aussi été en mesure d'évaluer les effets phytotoxiques des plantes à huiles essentielles sur les cultures témoins mises en place.

TABLE DES MATIÈRES

DESCRIPTION DU PROJET	2
TABLE DES MATIÈRES	3
OBJECTIF ET MÉTHODOLOGIE OU DÉMARCHE	4
<i>Description du site et des travaux du volet 1</i> :	4
<i>Description du site et des travaux du volet 2</i> :	6
<i>Description du site et des travaux du volet 3</i> :	7
<i>Description des travaux du volet 4</i> :	8
<i>Analyse des données</i>	8
RÉSULTATS SIGNIFICATIFS POUR L'INDUSTRIE OU POUR LA DISCIPLINE	9
<i>Résultats sur l'analyse des huiles essentielles</i>	9
<i>Du laboratoire aux champs</i>	13
Résultats volet 1 :.....	13
<i>2010 : Densité et biomasse des mauvaises herbes</i>	13
<i>2011 : Densité et biomasse des mauvaises herbes</i>	16
<i>Effet allélopathique</i>	18
<i>Rendement de la carotte</i>	23
<i>Densité et biomasse des mauvaises herbes – La Malbaie</i>	25
<i>Rendement de la betterave – La Malbaie</i>	26
Résultats volet 2	27
<i>Biomasse des cultures intercalaires</i>	27
<i>Densité et biomasse des mauvaises herbes</i>	27
<i>Rendement du brocoli</i>	28
Résultats volet 3	28
<i>Rendement de brocoli</i>	29
Résultats volet 4	31
<i>Impacts des huiles essentielles sur la germination</i>	31
Analyse économique	38
CONCLUSION	40
LES BIENS LIVRÉS	40
REMERCIEMENTS	41
ANNEXE(S)	41

OBJECTIF ET MÉTHODOLOGIE OU DÉMARCHE

OBJECTIFS

Les objectifs spécifiques des différents volets sont les suivants :

Volet 1 : Déterminer l'effet de l'application de biomasse séchée ou fraîche (congelée) de plantes produisant des huiles essentielles sur la répression des mauvaises herbes et le rendement de la culture;

Volet 2 : Déterminer l'effet d'une culture intercalaire de plantes à huiles essentielles sur la répression des mauvaises herbes et le rendement d'une culture de brocolis;

Volet 3 : Déterminer l'effet du muka appliqué à la surface du sol comparé à son incorporation dans le sol sur la répression des mauvaises herbes et le rendement d'une culture de brocolis;

Volet 4 : Évaluer l'emploi de différentes huiles essentielles sur la germination des semences de mauvaises herbes.

Description du site et des travaux du volet 1 :

Des transplants de plantes à huiles essentielles ont été produits dans une serre biologique de l'Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA) à Saint-Hyacinthe au printemps 2009. Les espèces produites ont été : *Mentha spicata*, *Monarda fistulosa*, *Monarda didyma*, *Origanum vulgare hirtum* et *Thymus vulgaris*. Par la suite, une pépinière composée de ces mêmes transplants a été implantée sur la Plateforme d'innovation en agriculture biologique à Saint-Bruno-de-Montarville sur un sable loameux de la série Aston. Un total de 7840 plants de *M. fistulosa*, 5640 de *M. didyma*, 8220 de *M. spicata*, 5490 d'*O. vulgare hirtum*, 4160 de *T. vulgaris* y ont été transplantés. L'analyse du sol de 2009 indiquait un pH de 6,1, une teneur en matière organique de 2,0 %, 191,1 kg ha⁻¹ de phosphore et 177,6 kg ha⁻¹ de potassium. Une fertilisation à base d'un engrais certifié biologique de fumier de poulet séché et granulé de marque Actisol (4-4-2) a été réalisée à l'aide d'un épandeur de marque Vicon à raison de 2000 kg ha⁻¹. Par la suite, le désherbage mécanique et manuel ainsi que le dérochage ont été les principaux travaux réalisés à la pépinière durant la saison de croissance de 2009.

En 2010, les travaux de ce volet se sont poursuivis à la Plateforme d'innovation en agriculture biologique de l'IRDA. Le protocole a été réalisé sur un sable loameux, dont l'analyse de sol indiquait un pH de 6,7, d'un taux de matière organique de 1,1%, 405,4 kg ha⁻¹ de phosphore et 184,6 kg ha⁻¹ de potassium. Le 8 juin 2010, de l'Actisol (4-4-2) a été appliqué à raison de 2000 kg ha⁻¹. L'analyse de sol de 2011 a révélé un pH de 6,0, un taux de matière organique de 1,8%, 216 kg ha⁻¹ de phosphore et 115 kg ha⁻¹ de potassium. Du fumier Actisol a encore une fois été appliqué à la volée, à un taux de 1375 kg ha⁻¹ le 1 juin 2011. La préparation du sol avec un vibroculteur a été réalisée avant et après l'application de fumier. Le 9 juin 2010, les carottes (cv. Enterprise) ont été semées (80 graines m⁻¹) avec le semoir pneumasem à une profondeur de 1,27 cm. En 2011, c'est le 2 juin que la même variété de carotte a été semée, selon les mêmes paramètres.

En 2010, chaque parcelle était constituée d'un rang mesurant 2 mètres et un rang de garde était implanté entre chacune d'elle. Le 10 juin 2010 le matériel allélopathique a été déposé sur le sol des parcelles concernées, sur une longueur de 1 mètre et une largeur de 50 cm. Le paillis était déposé de façon à ne pas déranger la levée des carottes. Réalisés en bloc aléatoire complet répété 4 fois, les différents traitements étaient constitués de paillis de *Mentha spicata* ou de *Monarda fistulosa*, récoltés de la pépinière implantée en 2009 dans le projet. Chacun de ces paillis a été appliqué à des taux différents (équivalent en matière sèche de 0,5 kg m⁻², 1 kg m⁻², 2 kg m⁻² et 4 kg m⁻²) sous forme sèche ou fraîche (congelée de la saison précédente). Chaque parcelle où le paillis fut étendu était divisée en

2, dont la première moitié était désherbée manuellement et la seconde laissée enherbée. Ces traitements ont été comparés à un traitement enherbé sans paillis et un témoin sans paillis désherbé manuellement. Le 27 et 28 juillet 2010, sur le premier 50 x 25 cm du paillis (section désherbée), les mauvaises herbes ont été comptées et récoltées. Le 10 septembre 2010, les mauvaises herbes sur le second 50 x 25 cm du paillis (section enherbée), ont été à nouveau comptées et récoltées. Le 14 septembre 2010, les carottes ont été récoltées sur une longueur de 50 cm chaque dans la section désherbée et dans la section enherbée.

En 2011, l'installation du paillis allélopathique a été réalisée le 6 juin (le paillis sec) et le 7 juin (paillis congelés). Selon la même disposition expérimentale, les parcelles étaient constituées d'un rang de 3,4 mètres. Deux zones par parcelles ont été délimitées (60 cm x 25 cm) où le paillis fut appliqué. Les deux zones étaient distancées de 1 mètre. L'une était désherbée manuellement au cours de la saison afin d'évaluer l'impact brut des paillis sur le rendement de la carotte et l'autre sans désherbage sur le paillis. Une bande de 2,5 cm a été laissée sur le rang sans paillis pour ne pas nuire à la levée des carottes. Les différentes espèces utilisées comme paillis étaient la *Mentha spicata*, la *Monarda fistulosa*, la *Monarda didyma*, *Origanum Vulgare* et *Thymus vulgaris* et l'avoine, implantée comme traitement neutre. Ces traitements ont été encore une fois comparés à des traitements témoin où les parcelles ont été désherbées manuellement sans paillis et un témoin enherbé sans paillis. Les mêmes doses et les conditions de paillis frais et sec ont été réalisées comme différents traitements comme en 2010. Au total, 50 traitements différents ont été réalisés. Les zones entre les parcelles et les parcelles de gardes ont été désherbées mécaniquement, avec des disques et des pattes d'oies, le 17 et le 29 juin 2011, le 19 juillet 2011, le 4 août 2011 et manuellement entre le 22 et le 30 juin 2011, le 5, 8 et 11 juillet. La zone du paillis désherbée manuellement le fut le 20 juin 2011 et une deuxième fois du 2 au 5 août 2011. Le 26 juillet 2011, les parcelles ont été irriguées à raison de 8 mm d'eau par heure pendant 3 heures. L'évaluation des mauvaises herbes a été effectuée du 19 au 21 juillet 2011. La zone d'évaluation a été divisée en deux sections, l'une sur le rang, d'une dimension de 2,5 cm x 25 cm et l'autre sur la section d'entre-rang, où le paillis avait réellement la dose appliquée, d'une dimension de 10 cm x 25 cm. Les carottes ont été récoltées le 13 et 14 août sur 50 cm sur le rang dans la zone du paillis désherbée manuellement.

Site de La Malbaie:

En 2011, un protocole a été réalisé à La Ferme des Monts, un producteur de La Malbaie, où le paillis de deux plantes allélopathiques a été installé pour contrôler les mauvaises herbes dans une culture de betterave. Le matériel allélopathique de *M. spicata* et de *M. fistulosa* a été récolté le 2 août et installé chez le producteur le jour suivant. Le protocole fut réalisé en bloc aléatoire complet, dont quatre blocs et quatre traitements par bloc : témoin enherbé, témoin désherbé manuellement sans paillis, un paillis de menthe de 2 kg m⁻² sous forme fraîche et un paillis de monarde de 2 kg m⁻² sous forme fraîche. Le 7 juin 2011, du fumier de cheval composté avait été appliqué à un taux de 40 t ha⁻¹ et incorporé avec un vibroculteur. Le champ avait été sarclé le 23 juin et le 19 juillet avec le vibroculteur. Les parcelles expérimentales avaient un mètre de long et 3 rangs de large (20 cm entre les rangs). Un espace de 5 cm a été laissé sur le rang pour favoriser la croissance de la culture de betteraves. Des betteraves de variété Chioggia ont été semées dans les blocs un et deux et Touchstone Gold dans les blocs trois et quatre le 20 juillet 2011 à une profondeur de 1,25 cm. Ces variétés sont utilisées pour le marché de la mini-betterave et de l'entreposage. Le 17 octobre 2011, les mauvaises herbes ont été comptées et identifiées et leur biomasse aérienne a été prélevée dans un quadrat de 0,30 m x 0,36 m pour être séchée et évaluée par la suite. Les betteraves ont été récoltées sur une longueur de 50 cm au centre de chaque parcelle et ont été évaluées, comptées et pesées.

Description du site et des travaux du volet 2 :

Site de Saint-Bruno-de-Montarville :

Des transplants de brocolis (cv. Windsor) ont été produits en serre et ce, selon les normes de la régie biologique. Les brocolis ont été transplantés le 4 juin 2009 au site de Saint-Bruno-de-Montarville sur un sable loameux de la série Aston. L'analyse de sol de 2009 indiquait un pH 6,1, une teneur en matière organique de 2,8 %, 459,2 kg ha⁻¹ de phosphore et 401,0 kg ha⁻¹ de potassium. Quelques jours avant la transplantation du brocoli, une application d'Actisol (4-4-2) a eu lieu à raison de 2000 kg ha⁻¹. Une deuxième application d'Actisol a été effectuée cinq semaines après la transplantation à raison de 1250 kg ha⁻¹. L'analyse de sol de 2010 a révélé un pH de 6,1, 490,6 kg ha⁻¹ de phosphore et 362,9 kg ha⁻¹ de potassium. Le 22 juin 2010 a eu lieu l'épandage d'Actisol (4-4-2) à raison de 2000 kg ha⁻¹. Le 20 juillet 2010, le même fumier (4-4-2) a été appliqué manuellement à la volée et incorporé par la suite, à raison de 1250 kg ha⁻¹. L'analyse de sol de 2011 a révélé un pH de 6,0, un taux de matière organique de 1,8 %, 216 kg ha⁻¹ de phosphore et 115 ha⁻¹ de potassium. En 2011, trois fertilisations en bande ont été effectuées manuellement. Une première fertilisation a été faite manuellement en bande, à un taux de 2353 kg ha⁻¹ d'Actisol (4-4-2) le 20 mai 2011. Les deuxième et troisième fertilisations de 375 kg ha⁻¹ chacune ont été effectuées le 7 et le 23 juin respectivement.

Le même jour de la transplantation du brocoli en 2009, des cultures intercalaires d'origan, de thym et de menthe ont été ensemencées. Cependant, suite à plusieurs problèmes au niveau du semis des cultures intercalaires en 2009, des transplants ont été produits en 2010 et 2011. Le travail du lit de semence a été réalisé avec un vibroculteur. En 2010, l'espacement entre les rangs des cultures intercalaires et de brocolis était de 15 cm. L'espacement entre les brocolis était de 30 cm sur le rang et de 90 cm entre les rangs. Chacune des parcelles était séparée par deux rangs de garde et les cultures intercalaires étaient espacées sur le rang de 15 cm, à 15 cm du rang.

En 2011, la transplantation manuelle des brocolis a été effectuée le 20 mai 2011, selon un espacement entre les rangs de 76 cm et 30 cm entre les plants. Les transplants de plantes à huiles essentielles ont été implantés au centre de l'entre-rang, à une distance de 15 cm entre chacun. Ces différents traitements ont été comparés aux témoins enherbés et désherbés manuellement. Le dispositif expérimental était en bloc aléatoire complet répété 4 fois. Chacune des parcelles était composée d'un rang de brocoli d'une longueur de 3 mètres, avec de chaque côté du rang de brocolis, un rang de culture intercalaire transplantée (*M. spicata*, *O. vulgare* et *T. vulgaris*).

En 2011, toutes les parcelles ont été désherbées mécaniquement et manuellement, suite aux résultats de 2010 qui n'étaient pas concluants sur l'effet répressif des cultures intercalaires sur les mauvaises herbes. La culture a été désherbée mécaniquement à l'aide du Weed Master® une première fois le 31 mai 2011, avec un passage de sarclleur à doigts et un deuxième, avec des pattes d'oies. Un deuxième sarclage mécanique a été effectué le 20 juin 2011 avec les pattes d'oies. Par la suite, deux désherbages manuels ont été requis le 7 et le 21 juillet 2011. Toutes les parcelles ont été ainsi désherbées, sauf le témoin enherbé. Trois applications de Btk Safer's ont été requises pour réprimer les insectes nuisibles dans la culture du brocoli. À une dose de 10 l m⁻², les applications ont été faites à l'aide d'un pulvérisateur manuel le 22, 27 juin 2011 et le 15 juillet 2011. Les plantes allélopathiques ont été évaluées et récoltées le 13 juillet 2011.

Trois récoltes de brocolis ont été effectuées, afin d'avoir 5 brocolis par parcelle. Durant la récolte, les brocolis ont été effeuillés au champ avant d'être taillés à 20 cm de longueur à partir de la tête. Ils ont été pesés par la suite et le diamètre a été mesuré. La 1^{ère} récolte de brocolis ainsi que l'évaluation de la biomasse de mauvaises herbes sur et entre les rangs (quadrat de 20 x 50cm) ont été effectuées le 11 août 2010. La biomasse des intercalaires a aussi été évaluée cette date. La 2^e récolte de brocolis et la fin de l'évaluation de la biomasse des mauvaises herbes a eu lieu le 13 août 2010. La

troisième et la dernière récolte ont été effectuées le 17 et 24 août 2010 respectivement. La dernière année, les mauvaises herbes ont été évaluées le 13 et le 14 juillet 2011 dans le témoin enherbé pour évaluer la pression des populations. Les dimensions physiques (hauteur des plants (cm) et largeur du feuillage (cm)) et la biomasse sèche des cultures intercalaires sont les variables notées quelques jours avant la récolte. Les brocolis ont été récoltés à quatre reprises, soit le 19, 21, 22 et le 25 juillet 2011.

Site de Grondines :

Les parcelles de recherche ont été mises en place le 11 juin 2009 au site de Grondines (Aliksir) dans une culture de monarde fistuleuse et de camomille rampante. Le dispositif expérimental était en bloc aléatoire complet répété 4 fois et ce, pour les deux cultures. Les traitements étaient les suivants : témoin désherbé manuellement, témoin enherbé, origan semé et origan transplanté. En 2009, l'origan semé n'a pas levé.

Suite à une entente entre les différents partenaires du projet après la saison 2009, ce volet a été laissé de côté. Les raisons principales étaient la trop grande variabilité du site expérimental et le manque de main d'œuvre disponible pour la réalisation du projet chez d'Aliksir. La faisabilité de ce volet étant devenue très restreinte et non avantageuse au niveau des coûts d'opérations, le volet à Grondines a été abandonné. De plus, les résultats préliminaires, en faisant abstraction du traitement d'origan semé qui n'a pas fonctionné, montrent qu'il n'y avait pas de différence entre les traitements d'origan semé et les témoins enherbés et ce, pour l'impact sur les mauvaises herbes et sur le rendement.

Description du site et des travaux du volet 3 :

Des transplants de brocolis (cv. Windsor) ont été produits en serre et ce, selon les normes de la régie biologique. Le volet 3 a été réalisé sur le site de Saint-Bruno-de-Montarville sur un sable loameux de la série Aston. L'analyse de sol de 2009 indiquait un pH 6,1, une teneur en matière organique de 2,8 %, 459,2 kg ha⁻¹ de phosphore et 401,0 kg ha⁻¹ de potassium. Une application de fumier de volaille Actisol (4-4-2) à raison de 2000 kg ha⁻¹ a été réalisée quelques jours avant la transplantation de 2009. Une deuxième application d'Actisol a été effectuée 5 semaines après la transplantation à raison de 1250 kg ha⁻¹. L'analyse de sol de 2010 a révélé un pH de 6,1, 490,6 kg ha⁻¹ de phosphore et 362,9 kg ha⁻¹ de potassium. L'épandage d'Actisol (4-4-2), à raison de 2000 kg ha⁻¹ et le travail du lit de semence avec le vibroculteur ont été réalisés le 22 juin 2010. Une deuxième application d'Actisol (4-4-2), à raison de 1250 kg ha⁻¹, a été effectuée à la volée et par la suite, incorporée manuellement le 20 juillet 2010.

En 2009, les brocolis ont été transplantés le 15 juin. Le même jour que la transplantation, le muka de sapin a été appliqué à la surface ou enfoui dans le sol (avec un rotoculteur) selon la randomisation des traitements et ce, sur toute la longueur de la parcelle. Chacune des parcelles était composée d'un rang de trois mètres de longueur séparée par un rang de garde de chaque côté. L'espacement entre les brocolis était de 30 cm sur le rang et de 90 cm entre les rangs. Des traitements témoins enherbés et témoins désherbés manuellement étaient aussi inclus dans le dispositif expérimental qui était en bloc aléatoire complet répété quatre fois. Les mauvaises herbes ont été comptées à deux reprises et lors du dernier comptage, la biomasse aérienne a aussi été prélevée dans un quadrat de 20 x 100 cm. Le rendement du brocoli (g), sa hauteur (cm), le diamètre de la fleur (cm) a été déterminé sur cinq plants par parcelle.

En 2010, les brocolis ont été transplantés manuellement le 23 juin 2010. Le même jour que la transplantation en 2010, le muka de monarde a été appliqué à la surface ou enfoui dans le sol dans les 5 premiers centimètres (avec un rotoculteur) sur toute la longueur de la parcelle. La surface couverte dans la parcelle était de 2,7 m² à un taux de 13,7 kg m⁻² de matériel humide (74,6 % à la récolte). Les mauvaises herbes ont été récoltées et pesées le 11 août 2010 dans un quadrat de 25 x 50 cm pris sur le

rang et un autre pris entre les rangs. La récolte des brocolis a eu lieu les 11, 12, 13, 17, 20, 24 et 25 août 2010. Cinq brocolis par parcelle ont été récoltés.

Description des travaux du volet 4 :

La réalisation de ce volet a débuté au printemps 2010 et s'est terminée en mars 2011. Six huiles essentielles (*M. fistulosa*, *M. didyma*, *T. vulgaris*, *O. vulgare*, *M. spicata* et *M. piperita*) ont été testées à cinq concentrations différentes. Ces concentrations de 200, 400, 800, 1600 et 3200 ppm ont été préparées à partir de l'huile pure (1 000 000 ppm), diluée dans l'alcool dénaturé (85 % éthanol + 15 % méthanol). Chaque unité expérimentale était composée d'un plat de pétri contenant un papier filtre ainsi que 25 graines d'une des mauvaises herbes testées. Les quatre espèces de mauvaises herbes à l'étude étaient : le chénopode blanc (*Chenopodium album*, CHEAL), l'amarante à racine rouge (*Amaranthus retroflexus*, AMARE), la sétaire glauque (*Setaria glauca*, SETGL) et l'échinochloa pied-de-coq (*Echinochloa crusgalli*, ECHCR). Un millilitre de chaque dilution a été versé sur le papier-filtre et laissé à l'air libre pendant 30 minutes, afin de laisser évaporer l'alcool. Par la suite, 4 ml d'eau ultrapure ont été ajoutés au pétri et ce dernier a été scellé avec du parafilm pour le rendre étanche. Il y a eu quatre unités par traitement, et ceux-ci ont été comparés à deux témoins (témoin alcool et témoin eau). Il y avait donc 672 pétris préparés (6 huiles x 7 traitements x 4 espèces de mauvaises herbes x 4 unités expérimentales) au cours de l'expérience.

Les pétris ont été placés dans une chambre de croissance à 27°C et 80% d'humidité, avec une photopériode de 16: 8 (jour: nuit). La germination a été vérifiée le 7^e, 14^e, 18^e et 21^e jour d'incubation. L'évaluation de la germination consistait à compter le nombre de graines ayant germé (production de la radicule visible) sur le nombre de graines total dans le pétri. Le nombre de graines affectées par des champignons a aussi été pris en note. À la dernière date d'observation, le parafilm a été enlevé et les pétris ont été ouverts pour permettre un décompte exact. Si la germination n'était pas encore stable après 21 jours, les pétris étaient incubés pendant encore trois jours pour assurer une germination optimale et stable avant de les ouvrir.

Extraction et analyse quantitative des huiles essentielles

Des échantillons humides et secs de chacune des variétés testées ont été analysés par la corporation LaSève de l'Université du Québec à Chicoutimi. L'extraction de l'huile s'est faite par hydrodiffusion durant 2 heures. Par la suite, une analyse par chromatographie gazeuse (GC/FID) sur deux colonnes capillaires (Supelcowax 10 (polaire) et DB-5 (non polaire)) a été réalisée. La détection des pourcentages des composés a été réalisée par un détecteur à ionisation de flamme (FID). Les huiles essentielles pures fournies par Aliksir, utilisées dans le cadre du volet 4, ont aussi été analysées.

Analyse des données

Les analyses statistiques présentées ci-dessous ont été réalisées par le logiciel R. Les données ont été ajustées à des modèles linéaires généralisés et des analyses de la variance à un ou plusieurs facteurs. Les modèles présentés rencontrent les exigences de chacun des types d'analyses. Les transformations des données effectuées pour rencontrer les critères de validité des tests statistiques diffèrent selon les analyses. La liste des différentes transformations réalisées selon les analyses est présentée en Annexe 2. L'analyse de Tukey HSD (*Honestly Significant Difference*) et LSD (*Least significant difference*) ont été utilisées comme tests de comparaison de moyennes.

Effet allélopathique vs effet physique des paillis en 2011

Les objectifs du projet tendent à mettre en lumière l'allélopathie de différentes plantes et de l'impact de cette caractéristique sur les populations de mauvaises herbes. Dans le volet 1, l'utilisation du paillis comme méthode de répression ne reflète pas uniquement l'allélopathie des espèces utilisées dans le cadre de cette technique, mais un effet cumulatif de l'effet physique et de l'effet allélopathique, s'il existe. Les mauvaises herbes sont réprimées parce que le paillis empêche la lumière de pénétrer jusqu'au sol, parce qu'il forme une barrière physique contre la croissance des adventices et, selon notre hypothèse, par l'impact de la présence des alcools monoterpéniques libérés par le paillis sur la germination et la croissance des mauvaises herbes. L'effet allélopathique des paillis est défini ici comme la capacité des paillis à réprimer les mauvaises herbes grâce à l'allélopathie seulement. En considérant que les différentes doses du paillis témoin d'avoine reflètent l'effet physique répressif des différentes doses des espèces allélopathiques étudiées, il est possible d'isoler mathématiquement l'effet allélopathique brut des paillis.

Les mauvaises herbes évaluées dans une parcelle peuvent se calculer comme suit:

$$(1) \quad \text{MH}_{\text{parc}} = \text{Pression naturelle MH} - \text{Effet physique du paillis} - \text{Effet allélopathique}$$

En considérant

Pression naturelle MH = MH dans le témoin enherbé du bloc associé

Effet physique du paillis = Pression naturelle MH – MH dans le paillis d'avoine

MH dans le paillis d'avoine = Pression naturelle MH – Effet physique du paillis

En d'autres termes,

$$(2) \quad \text{MH}_{\text{parc}} = \text{MH dans le témoin enherbé} - (\text{MH dans le témoin enherbé} - \text{MH dans le paillis d'avoine}) - \text{Effet allélopathique}$$

En simplifiant :

$$(3) \quad \text{Effet allélopathique} = \text{MH dans le paillis d'avoine} - \text{MH}_{\text{parc}}$$

Donc, selon la variable analysée, l'effet allélopathique est positif lorsque le paillis de plantes aromatiques a mieux réprimé les mauvaises herbes que le paillis d'avoine. La valeur indique la portion réprimée grâce à l'effet allélopathique. Si le chiffre est négatif, cela signifie que le paillis d'avoine a mieux performé que le paillis comparé.

RÉSULTATS SIGNIFICATIFS POUR L'INDUSTRIE OU POUR LA DISCIPLINE

Résultats sur l'analyse des huiles essentielles.

L'analyse quantitative des huiles essentielles d'Alksir a permis d'observer qu'elles possédaient toutes un alcool monoterpénique en proportion importante, dont le thymol, le carvacrol, le menthol et le géraniol, sauf la *M. spicata* (tableau 1). Ces valeurs varient de 17,47 % pour le carvacrol chez l'origan à 89,53 % de géraniol chez la monarde fistuleuse. Cependant, nous n'observons pas cette composition dans l'analyse du matériel récolté au champ de l'IRDA en 2009 (tableau 1) et en 2010 (tableau 2) pour la *M. fistulosa*. Selon ces analyses, c'est le carvacrol qui serait l'alcool monoterpénique le plus présent variant de 13,39 % à 47,43% entre 2009 et 2010. Aussi, nous n'avons pas observé les mêmes proportions de carvacrol chez la *M. didyma*. L'analyse du matériel de l'IRDA a détecté entre 9,79 % et 13,21 % de linalol et pratiquement pas de carvacrol, comparé à 50,71 % de

carvacrol dans l'huile d'Alikisir. Au niveau de la *M. piperita* cultivée à l'IRDA, aucun alcool monoterpénique n'a été décelé, comparé à un haut taux de menthol dans l'huile essentielle d'Alikisir. Il est intéressant de voir aussi que la *M. spicata* ne possède jamais d'alcool monoterpénique important (au champ comme dans l'huile pure), de même que l'origan grec, *Origanum vulgare hirtum*. Les valeurs de rendement de l'huile peuvent nous renseigner sur la quantité d'huile présente dans le paillis et ainsi faire des rapprochements avec les résultats du volet 1, où ces plantes sont étendues au sol et utilisées comme paillis. Il est possible ainsi d'estimer la quantité d'alcool monoterpénique apporté au champ, et considérer les résultats en fonction de ces taux.

Tableau 1. Pourcentage du rendement de l'extraction de l'huiles des plantes alléopathiques produites à l'IRDA en 2009 et pourcentage des principaux alcools monoterpéniques constituant ces huiles extraites et celles utilisées dans le cadre du volet 4, fournies par Aliksir.

	Matériel IRDA récolté 2009				Huiles essentielles d'Aliksir					
	<i>Mentha piperita</i> sèche	<i>Mentha piperita</i> humide	<i>Monarda fistulosa</i> sèche	<i>Monarda fistulosa</i> humide	<i>Origanum kaliteri</i>	<i>Thymus vulgaris</i>	<i>Monarda fistulosa</i>	<i>Mentha spicata</i>	<i>Mentha piperita</i>	<i>Monarda didyma</i>
Rendement (vol/poids sec) %	0,57	0,46	0,63	1,10						
Principaux alcool monoterpénique (%)										
linalol	0,20	0,29	1,06	1,27	1,85	3,76	1,75	---	0,15	0,25
bornéol	---	---	0,17	0,16	0,20	2,37	---	1,97	---	0,12
lavandulol	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
terpin-1én-4-ol	0,06	0,4	0,35	0,66	12,5	1,39	0,11	0,22	0,28	1,11
α -terpinéol	0,16	0,26	0,16	0,28	2,43	0,27	0,06	0,15	0,29	0,23
géraniol	---	---	---	1,17	---	---	89,53	---	---	---
thymol	0,09	0,29	0,11	0,34	0,07	26,38	0,03	---	---	0,24
carvacrol	---	---	13,39	33,77	17,47	1,47	1,34	---	---	50,71
menthol	---	---	---	---	---	---	---	---	56,75	---

Tableau 2. Pourcentage du rendement de l'extraction de l'huiles des plantes allélopathiques produites à l'IRDA en 2010 et pourcentage des principaux alcools monoterpéniques constituant ces huiles extraites.

Matériel IRDA récolté 2010										
	<i>Mentha spicata</i> sèche	<i>Mentha spicata</i> humide	<i>Monarda didyma</i> sèches	<i>Monarda didyma</i> humide	<i>Monarda fistulosa</i> sèche	<i>Monarda fistulosa</i> humide	<i>Origanum vulgare hirtum</i> sèche	<i>Origanum vulgare hirtum</i> humide	<i>Thymus vulgaris</i> sèche	<i>Thymus vulgaris</i> humide
Rendement (vol/poids sec) %	0,1	0,95	0,31	0,75	0,38	0,33	0,09	0,16	0,28	0,74
Principaux alcools monoterpéniques (%)										
linalol	0,27	0,19	13,21	9,79	0,70	0,14	1,17	0,62	3,02	2,34
bornéol	0,06	---	0,40	0,82	0,16	0,09	---	---	0,87	0,62
lavandulol	0,30	0,43	0,17	0,10	---	---	---	---	---	---
terpin-1én-4-ol	0,19	0,28	0,16	0,29	0,68	0,63	0,96	0,73	0,91	0,86
α=terpinéol	0,30	0,37	2,50	3,53	0,28	0,20	0,52	0,23	0,33	0,24
géraniol	0,13	0,38	---	---	---	---	---	---	---	---
thymol	0,63	0,25	1,43	1,03	0,75	0,15	0,51	0,08	40,12	38,64
carvacrol	0,28	---	1,39	1,70	47,43	39,9	0,59	---	2,77	2,18

Du laboratoire aux champs

Grâce aux valeurs de rendement de l'extraction des huiles essentielles des paillis, il est possible d'estimer quelle est la quantité d'huile qui fut apportée au champ dans le volet 1 du projet. Selon les différents taux d'application dans chaque parcelle, les quantités d'huile apportées se situent entre 0,45 ml m⁻² à 38,00 ml m⁻². Les concentrations testées en laboratoire se situent entre 200 et 3200 ppm. En sachant la dimension des pétris utilisés en laboratoire, il est possible de calculer la quantité exprimée en ml m⁻², c'est-à-dire de 0,035 à 0,564 ml m⁻². Les taux d'application des paillis aux champs, exprimés en ppm est donc de 2553 à 215 619 ppm.

RÉSULTATS VOLET 1 :

2010 : Densité et biomasse des mauvaises herbes

Le dispositif mis en place en 2010 a permis de mettre en évidence que les deux espèces utilisées comme paillis ont eu le même impact sur les populations de mauvaises herbes (tableau 3). Le paillis a diminué de façon significative la densité totale, la biomasse totale et la densité de mauvaises herbes à feuilles larges (dicotylédones), comparé au témoin enherbé. La menthe s'est démarquée au niveau de la densité des dicotylédones, n'étant pas statistiquement différente du témoin désherbé manuellement. Aucun modèle valable n'a pu être établi au niveau de la biomasse des dicotylédones. Selon les chiffres bruts, la biomasse des dicotylédones sous paillis de menthe fut de 217,1 g m⁻², comparée à celle sous paillis de monarde à 260,3 g m⁻² et au témoin enherbé de 216,3 g m⁻². Le paillis ne semble donc avoir eu aucun impact. La répression des monocotylédones fut beaucoup plus faible, ne présentant aucune différence statistique. La dose appliquée de paillis ne fut pas toujours un facteur significatif de contrôle lors de la première évaluation des mauvaises herbes en 2010. Les doses 2 et 4 kg m⁻² se sont démarqués sur l'impact de la densité totale, diminuant de façon significative les populations comparées au témoin enherbé. La dose appliquée eu un effet encore plus marqué sur la densité des dicotylédones où encore les doses 2 et 4 ont empêché la prolifération des adventices et n'étaient pas significativement différentes du témoin désherbé manuellement. Au niveau des monocotylédones, seule la dose 4 est ressortie comme étant significativement différente du témoin enherbé. Les paillis congelés ou sous forme sèche n'ont pas influencé les mauvaises herbes de façon différente sauf pour une légère tendance à être plus efficace sous forme congelée à diminuer le nombre de dicotylédones.

L'évaluation des mauvaises herbes plus tard en saison nous montre, encore une fois que les espèces utilisées comme paillis ne se démarquent pas l'une de l'autre (tableau 4). La présence du paillis n'a eu qu'un effet bénéfique au niveau des variables de densité totale et des dicotylédones. Selon les variables de biomasse totale et celle des dicotylédones, la présence de paillis n'a eu aucun impact, même jusqu'à favoriser les mauvaises herbes, puisque la biomasse des mauvaises herbes est supérieure à celle retrouvée dans le témoin enherbé. Il y avait donc sous paillis, moins de mauvaises herbes, mais celles qui s'y retrouvaient étaient plus imposantes. La dose appliquée fut un facteur significatif lors de l'évaluation de septembre. Au niveau de la densité totale, une dose d'au moins 2 kg m⁻² est requise pour diminuer significativement les populations de mauvaises herbes. En regardant plus précisément les deux classes de plantes, il est possible de dire que même les doses plus faibles ont eu un impact sur la densité (0,5 kg m⁻² pour les dicotylédones et 1 kg m⁻² pour les monocotylédones), et que les doses plus fortes se rapprochent d'un contrôle total. Les variables de biomasse ne reflètent pas d'effet positif des doses appliquées, sauf pour la dose la plus forte sur la biomasse des monocotylédones. Et encore une fois, la forme sous laquelle le paillis est appliqué n'influe pas les données. La forme congelée tend à se démarquer et avoir un effet plus positif, mais qui n'est pas observé au point de vue statistique. Une interaction significative entre la dose appliquée et l'état du paillis influence la biomasse des dicotylédones. La réponse des doses est différente selon l'état où elles sont appliquées. L'interaction est représentée graphiquement en Annexe 3.

Tableau 3. Impact de paillis de menthe et monarde sur les populations de mauvaises herbes le 27-28 juillet 2010, dans la zone du paillis désherbée manuellement à St-Bruno de Montarville.

Espèce	Dose	État du paillis	Densité totale (nb m ⁻²)	Biomasse totale (g m ⁻²)	Densité dicot. (nb m ⁻²)	Biomasse dicot. (g m ⁻²)	Densité mono. (nb m ⁻²)	Biomasse mono. (g m ⁻²)
Menthe	0,5	Cong	345,0	335,8	227,5	216,0	80,0	65,3
	1	Cong	337,5	437,5	267,5	343,3	67,5	90,7
	2	Cong	75,0	238,6	50,0	171,4	7,5	0,6
	4	Cong	57,5	147,5	37,5	110,8	10,0	10,8
	0,5	Sec	375,0	377,8	197,5	191,5	140,0	151,9
	1	Sec	370,0	425,0	207,5	267,0	130,0	138,6
	2	Sec	355,0	526,9	217,5	316,2	125,0	168,2
	4	Sec	97,5	137,8	82,5	120,6	7,5	2,0
Monarde	0,5	Cong	330,0	376,5	207,5	210,4	100,0	162,6
	1	Cong	195,0	252,2	160,0	211,4	35,0	40,8
	2	Cong	130,0	182,1	67,5	127,0	57,5	25,3
	4	Cong	75,0	295,1	70,0	290,8	2,5	0,5
	0,5	Sec	455,0	301,9	342,5	179,8	90,0	91,8
	1	Sec	362,5	525,1	282,5	463,7	72,5	57,5
	2	Sec	280,0	430,7	205,0	296,4	62,5	51,3
	4	Sec	150,0	336,4	85,0	302,8	50,0	28,5
TDM			0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
TE			577,5	343,2	412,5	216,3	115,0	59,4
Facteurs ANOVA								
Espèce			***	***	**	.	***	***
	Menthe		b	a	bc		a	a
	Monarde		b	a	b		a	a
	TDM		c	b	c		b	b
	TE		a	a	a		a	a
Dose			***	*	***	---	***	***
	0,5		a	a	ab		a	a
	1		ab	a	b		a	a
	2		bc	a	bc		a	a
	4		c	a	c		b	b
	TDM		d	b	c		c	c
	TE		a	a	a		a	a
État			**	---	**	---	.	*
	Cong		b	a	bc		a	a
	Sec		b	a	b		a	a
	TDM		c	b	c		b	b
	TE		a	a	a		a	a
Rep								

Code représentant les valeurs de probabilités attribuées à chacun des facteurs des ANOVA : P<0,001 ; '***', P=0,001;0,01 ; '**', P=0,01;0,05 ; '*', P=0,05;0,1 ; '.', P>0,1 ; '---'. Les groupes se voyant attribués la même lettre selon chacune des variables (sous une même colonne) ne sont pas significativement différents, seuil alpha = 0,05. La liste des transformations des données pour ajustement aux critères statistiques est présentée en Annexe 2.

Tableau 4. Impact de paillis de menthe et monarde sur les populations de mauvaises herbes le 10 septembre 2010, dans la zone du paillis laissée enherbée tout la saison, à St-Bruno de Montarville.

Espèce	Dose	État du paillis	Densité totale (nb m ⁻²)	Biomasse totale (g m ⁻²)	Densité dicot. (nb m ⁻²)	Biomasse dicot. (g m ⁻²)	Densité mono. (nb m ⁻²)	Biomasse mono. (g m ⁻²)
Menthe	0,5	Cong	312,5	1460,2	147,5	990,2	165,0	990,2
	1	Cong	242,5	1997,0	117,5	1255,6	125,0	1255,6
	2	Cong	105,0	1451,7	50,0	421,8	55,0	421,8
	4	Cong	45,0	1408,6	27,5	526,5	17,5	702,0
	0,5	Sec	312,5	944,9	155,0	562,7	157,5	562,7
	1	Sec	282,5	1728,4	177,5	826,7	105,0	826,7
	2	Sec	277,5	1546,3	150,0	858,3	127,5	858,3
	4	Sec	100,0	2242,2	75,0	195,7	25,0	195,7
Monarde	0,5	Cong	292,5	1172,6	127,5	462,8	165,0	462,8
	1	Cong	160,0	1154,5	102,5	365,5	57,5	365,5
	2	Cong	237,5	1774,9	112,5	937,1	125,0	937,1
	4	Cong	50,0	1509,2	47,5	31,7	2,5	126,9
	0,5	Sec	337,5	1083,9	175,0	515,8	162,5	515,8
	1	Sec	307,5	2037,4	165,0	864,2	142,5	864,2
	2	Sec	280,0	2430,4	150,0	474,5	130,0	474,5
	4	Sec	192,5	2851,1	92,5	1151,1	100,0	1534,8
TDM			0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
TE			520,0	499,9	310,0	241,4	240,0	241,4
Facteurs ANOVA								
Sp			***	***	***	**	***	***
	Menthe		b	a	b	ab	b	a
	Monarde		b	a	b	a	b	a
	TDM		c	c	c	c	c	b
	TE		a	b	a	bc	a	a
Dose			***	*	***	*	***	***
	0,5		ab	b	b	bc	ab	a
	1		ab	ab	bc	ab	bc	a
	2		b	ab	bc	ab	bc	a
	4		c	a	cd	a	cd	b
	TDM		d	d	d	c	d	c
	TE		a	c	a	c	a	a
État			***	.	**	.	---	---
	Cong		b	a	bc	ab	b	a
	sec		ab	a	b	a	b	a
	TDM		c	c	c	c	c	b
	TE		a	b	a	bc	a	a
Dose x état						*		
Rep				***	***		***	***

Code représentant les valeurs de probabilités attribuées à chacun des facteurs des ANOVA : P<0,001 ; '***', P=0,001;0,01 ; '**', P=0,01;0,05 ; '*', P=0,05;0,1 ; '.', P>0,1 ; '---'. Les groupes se voyant attribués la même lettre selon chacune des variables (sous une même colonne) ne sont pas significativement différents, seuil alpha = 0,05. La liste des transformations des données pour ajustement aux critères statistiques est présentée en Annexe 2.

2011 : Densité et biomasse des mauvaises herbes

En 2011, une seule évaluation de mauvaises herbes a eu lieu en mi-saison, cependant en différenciant la zone sur laquelle elles se trouvaient (entre ou sur le rang). Pour l'évaluation des mauvaises herbes sur le rang, aucune des espèces utilisées comme paillis ne s'est réellement démarquée (tableau 5). Mise à part une efficacité supérieure de la *M. fistulosa* à diminuer le nombre total de mauvaises herbes comparée au thym, la présence de paillis n'a pas vraiment diminué les populations de mauvaises herbes sur le rang. Même les doses appliquées ne sont pas globalement différentes l'une de l'autre. Cependant, selon l'espèce utilisée, la réponse de la biomasse totale est différente en fonction de la dose. L'interaction est représentée graphiquement en Annexe 3. De plus, aucun des modèles n'a décelé l'importance du facteur de la condition du paillis (sec ou congelé). Un tableau représentant les valeurs des 50 traitements se retrouve en Annexe 1 pour consultation.

Tableau 5. Sommaire des analyses de la variance représentant la significativité et la différence entre les facteurs sur les populations de mauvaises herbes sur le rang en fonction de six différents paillis en date du 19 au 21 juillet 2011, dans la zone du paillis laissée enherbée toute la saison, à St-Bruno de Montarville.

Facteurs ANOVA		Densité totale (nb m ⁻²)	Biomasse totale (g m ⁻²)	Densité dicot. (nb m ⁻²)	Biomasse dicot. (g m ⁻²)	Densité mono. (nb m ⁻²)	Biomasse mono. (g m ⁻²)
Espèce		***	**	---	---	*	---
	Avoine	ab	a	a		a	
	Menthe	ab	ab	a		ab	
	Monarde f.	b	a	a		ab	
	Thym	a	a	a		ab	
	Origan	ab	a	a		ab	
	Monarde d.	ab	a	a		ab	
	TDM	c	b	b		c	
	TE	ab	a	a		bc	
Dose		***	***	***	***	*	---
	0,5	ab	a	a	a	a	
	1	a	a	a	a	a	
	2	ab	ab	ab	ab	a	
	4	b	ab	b	ab	a	
	TDM	c	b	b	b	b	
	TE	ab	a	a	a	ab	
État du paillis		---	---	---	---	---	---
	Cong						
	Sec						
Espèce x Dose			*				
Rep							

Code représentant les valeurs de probabilités attribuées à chacun des facteurs des ANOVA : P<0,001 ; '***', P=0,001;0,01 ; '**', P=0,01;0,05 ; '*', P=0,05;0,1 ; '.', P>0,1 ; '---'. Les groupes se voyant attribués la même lettre selon chacune des variables (sous une même colonne) ne sont pas significativement différents, seuil alpha = 0,05. La liste des transformations des données pour ajustement aux critères statistiques est présentée en Annexe 2.

Les populations de mauvaises herbes se retrouvant directement sur le paillis ont été affectées par celui-ci (tableau 6). La présence de paillis a diminué statistiquement la densité totale, la densité des dicotylédones, la biomasse totale et la biomasse des dicotylédones. Pour ces variables, aucune différence n'a été notée entre les espèces utilisées comme paillis. Cependant, au niveau des monocotylédones, les deux espèces de monarde se sont avérées plus efficaces que le thym au niveau des variables de densité et biomasse. De plus, cette différence s'est reflétée avec le témoin enherbé. Ce sont donc les deux seules espèces à avoir diminué statistiquement la biomasse des monocotylédones dans nos conditions. Le traitement de paillis d'avoine qui se voulait un traitement reflétant l'effet physique du paillis, ne fut pas statistiquement plus faible dans les analyses réalisées dans le tableau 6.

Comme en 2010, les populations de mauvaises herbes ont été grandement influencées par la dose appliquée. Au niveau de la densité et de la biomasse totale, les doses les plus fortes (2 kg m^{-2} et 4 kg m^{-2}) ont réprimé statistiquement les mauvaises herbes. La dose 4 procure une répression similaire au témoin désherbé manuellement. Les dicotylédones ont été plus affectées par les doses plus faibles, où la densité sous la dose $0,5 \text{ kg m}^{-2}$ est même statistiquement différente du témoin enherbé. De plus, la réponse aux différentes doses est influencée par l'espèce utilisée dans le paillis. L'interaction est représentée graphiquement en Annexe 3. Les monocotylédones réagissent différemment à l'effet des différentes doses, où seulement la dose la plus forte a eu un impact réel sur ces mauvaises herbes. Les variables mesurées n'ont pas été influencées par l'une ou l'autre des conditions du paillis. Un tableau représentant les valeurs des 50 traitements se retrouve en Annexe 1 pour consultation.

Tableau 6. Sommaire des analyses de la variance, représentant la significativité et la différence entre les facteurs sur les populations de mauvaises herbes dans la zone d'entre-rang en fonction de six différents paillis en date du 19 au 21 juillet 2011, dans la zone du paillis laissée enherbée toute la saison, à St-Bruno de Montarville.

Facteurs ANOVA		Densité totale (nb m ⁻²)	Biomasse totale (g m ⁻²)	Densité dicot. (nb m ⁻²)	Biomasse dicot. (g m ⁻²)	Densité mono. (nb m ⁻²)	Biomasse mono. (g m ⁻²)
Espèce		***	.	**	*	**	***
	Avoine	b	ab	b	b	ab	ab
	Menthe	b	ab	b	b	ab	ab
	Monarde f.	b	ab	b	b	b	b
	Thym	b	ab	b	b	a	a
	Origan	b	ab	b	b	ab	ab
	Monarde d.	b	b	b	b	b	b
	TDM	c	c	c	c	c	c
	TE	a	a	a	a	ab	a
Dose		***	***	***	***	***	***
	0,5	a	a	b	ab	a	a
	1	a	ab	b	ab	a	a
	2	b	bc	c	b	ab	ab
	4	c	cd	d	c	bc	bc
	TDM	c	d	d	c	c	c
	TE	a	a	a	a	a	a
Condition		---	**	---	**	---	---
	Congelé		a		b		
	Sec		a		b		
	TDM		b		c		
	TE		a		a		
Espèce x Dose				*			
Rep				***			

Code représentant les valeurs de probabilités attribuées à chacun des facteurs des ANOVA : P<0.001 ; '***', P=0,001-0,01 ; '**', P=0,01;0,05 ; '*', P=0,05;0,1 ; '.', P>0,1 ; '---'. Les groupes se voyant attribués la même lettre selon chacune des variables (sous une même colonne) ne sont pas significativement différents, seuil alpha = 0,05. La liste des transformations des données pour ajustement aux critères statistiques est présentée en Annexe 2.

Effet allélopathique

La capacité allélopathique a été analysée sur la densité totale et la biomasse totale des mauvaises herbes (tableau 7). Statistiquement, il n'a pas été possible d'évaluer l'impact des facteurs sur la densité et la biomasse des mauvaises herbes entre le rang, c'est-à-dire directement dans le paillis. C'est cependant sur le rang, où le paillis a été écarté de 2,5 cm que les modèles statistiques sont valides. Le facteur paillis fut marginalement significatif, cependant, la comparaison de moyenne nous montre un impact réel de l'effet allélopathique de la menthe et la monarde fistuleuse. Sur le rang, la dose s'est révélée un facteur important. Les doses 1 et 4 kg m⁻² sont celles qui ont permis au paillis de refléter un effet allélopathique significatif. Les doses 2 et 0,5 kg m⁻², ayant des valeurs moyennes négatives, n'ont pas montré que les paillis avaient un impact allélopathique. Au point de vue de la biomasse sur le rang, il y a une nette progression de l'effet allélopathique avec les doses croissantes. Cependant, seulement la dose 4 kg m⁻² est statistiquement différente des autres. Une seule différence a

été décelée entre les deux états du paillis, au niveau de la densité des adventices sur le rang. Le paillis sous forme congelée a permis une meilleure expression de l'effet allélopathique des paillis comparée à l'état sec.

En analysant graphiquement les données de l'effet allélopathique entre les différentes espèces, les doses et l'état d'application (figures 1 et 2), il est possible de mieux comprendre la dynamique et l'impact réel des monoterpènes sur les populations de mauvaises herbes. Tous points au dessus de l'axe des x, les valeurs positives, nous montrent où l'effet allélopathique a réprimé les mauvaises herbes. Si la valeur est négative, cela signifie que le paillis de plantes aromatiques fut moins efficace que le paillis d'avoine.

Globalement, les valeurs de l'effet allélopathique sont beaucoup plus importantes dans la zone sur le rang que dans le paillis directement. Ce dernier a un effet physique plus grand et masque l'effet de l'allélopathie. Comme le paillis fut écarté du rang, l'impact physique des paillis des espèces allélopathiques et celui de l'avoine était très minime sur cette zone. Par contre, les paillis d'espèces allélopathiques libèrent dans le sol les composés nocifs aux adventices. Les données nous montrent que ces composés se sont probablement accumulés dans l'espace laissé sur le rang. La différence entre l'avoine et les autres espèces est beaucoup plus prononcée. C'est sans doute la raison pour laquelle les modèles statistiques sont plus clairs avec les données sur le rang. Ces dernières reflètent possiblement l'effet allélopathique des différents paillis sans l'interaction de leur effet physique.

Les graphiques des données des paillis à l'état sec montrent des niveaux d'impact allélopathique globalement plus bas que ceux observés sous l'état frais, surtout pour la biomasse dans l'entre-rang et la densité sur le rang (tableau 7) indiquant possiblement des niveaux de composés allélopathiques plus faibles sous forme sèche que sous forme congelée. Cependant, cette différence n'a pas été décelée selon l'analyse chimique des paillis.

En considérant la biomasse réprimée par l'allélopathie comme le reflet de la diminution de la croissance des plantes en présence des monoterpènes et la densité réprimée observée comme le reflet de la diminution de la germination due aux paillis de plantes aromatiques, nous pourrions tirer les conclusions suivantes :

- 1- Globalement sur le rang, plus la dose est élevée, plus l'effet allélopathique est grand. Il est logique de penser que plus il y a de paillis à proximité, plus il y aura de composés monoterpéniques de libérés et donc une répression plus grande des adventices.
- 2- Avec le paillis sous forme congelée, la croissance des mauvaises herbes sur le rang est diminuée par les doses plus fortes, cependant c'est à la dose 1 kg m⁻² que la germination semble avoir été le plus affectée et ce, pour l'ensemble des espèces.
- 3- Avec le paillis sous forme congelée, la diminution de croissance due aux espèces allélopathiques est plus prononcée aux doses faibles qu'aux doses élevées. L'effet physique augmente aussi avec la dose et devient si important que la portion de la répression allélopathique devient nulle.
- 4- Avec le paillis à l'état sec, la croissance des mauvaises herbes a diminué aussi en fonction de la dose croissante grâce à l'allélopathie sur le rang, mais avec des réponses beaucoup plus variables selon les espèces.
- 5- Il n'y a aucune diminution de la germination des mauvaises herbes sur le rang due à l'allélopathie avec le paillis sous forme sèche, sauf à la dose 4.
- 6- Directement sur le paillis sous forme sèche, l'effet répressif de l'allélopathie est très faible, ce qui limite la capacité d'analyse. La différence entre les paillis d'espèces à huiles essentielles et le paillis d'avoine est très faible, la répression est principalement due à l'effet physique dans ce cas.

Tableau 7. Répression des mauvaises herbes due à l'effet allélopathique des différentes espèces utilisées comme paillis, selon la dose appliquée et l'état du paillis sur le rang et dans le paillis en 2011 à St-Bruno-de-Montarville.

			Dans le paillis		Sans paillis sur le rang	
			Densité totale (nb m ⁻²)	Biomasse totale (g m ⁻²)	Densité totale (nb m ⁻²)	Biomasse totale (g m ⁻²)
			Modèle non-valide			
Espèce						
	Avoine		0,0	0,0	0,0	0 b
	Menthe		-33,8	154,1	73,4	2219,7 a
	Monarde f.		-5,0	207,1	165,0	2156,8 a
	Thym		-97,5	162,9	-60,0	148,4 ab
	Origan		-8,8	161,4	165,0	1961,6 ab
	Monarde d.		30,0	288,2	8,3	1085,1 ab
Dose					***	***
	0,5		-2,5	373,4	-333,3 c	-163,1 b
	1		-17,5	123,0	276,7 a	586,6 b
	2		-24,2	225,8	-26,7 b	1290,0 b
	4		-32,5	-73,1	317,8 a	3334,3 a
État					**	
	Congelé		-0,8	136,5	195 a	1515,2
	Sec		-37,5	188,0	-77 b	1008,7

Code représentant les valeurs de probabilités attribuées à chacun des facteurs des ANOVA : P<0,001 ; '***', P=0,001;0,01 ; '**', P=0,01;0,05 ; '*', P=0,05;0,1 ; '.', P>0,1 ; '---'. Les groupes se voyant attribués la même lettre selon chacune des variables (sous une même colonne) ne sont pas significativement différents, seuil alpha = 0,05. La liste des transformations des données pour ajustement aux critères statistiques est présentée en Annexe 2.

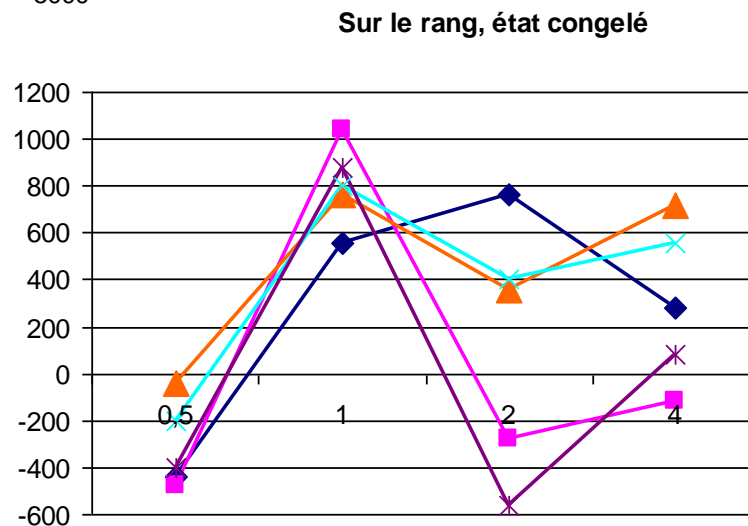
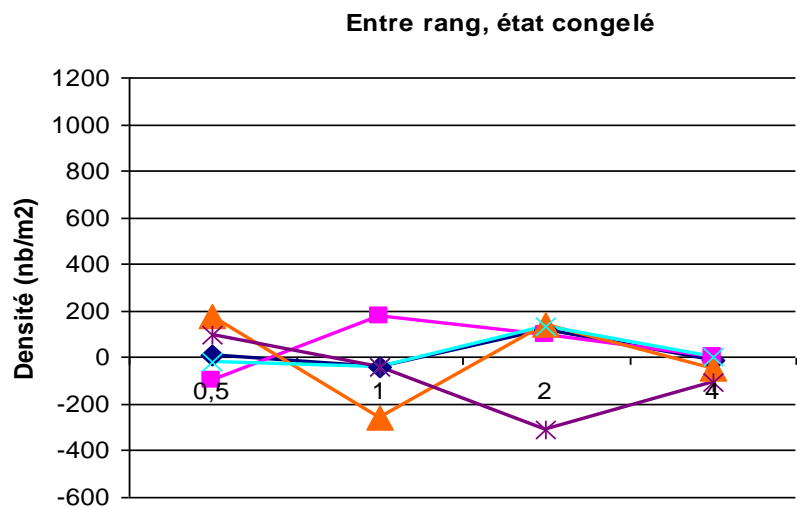
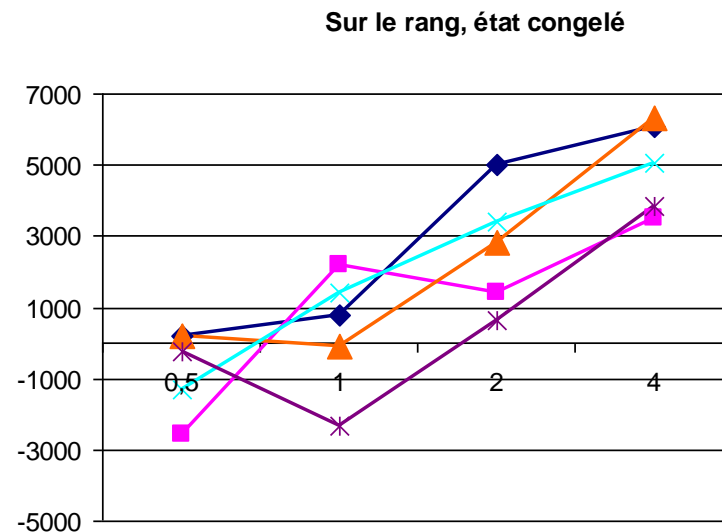
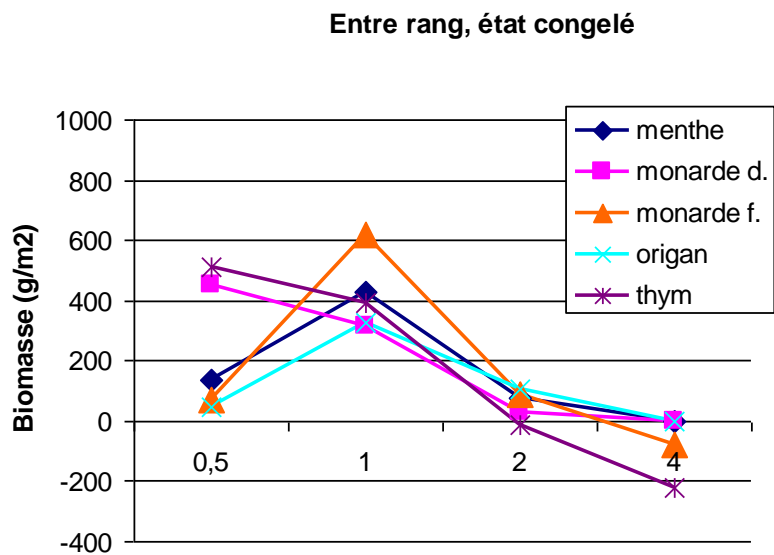


Figure 1 : Représentation graphique de l'effet allélopathique des paillis sous forme congelée, selon les espèces utilisées et les doses appliquées. Les deux graphiques du haut représentent la biomasse qui a été réprimée par l'allélopathie, les deux du bas indiquent la densité des mauvaises herbes réprimées, les deux graphiques de gauche représentent la zone sur le paillis (entre-rang) et les deux de droite la zone dégagée sur le rang. St-Bruno-de-Montarville, 2011.

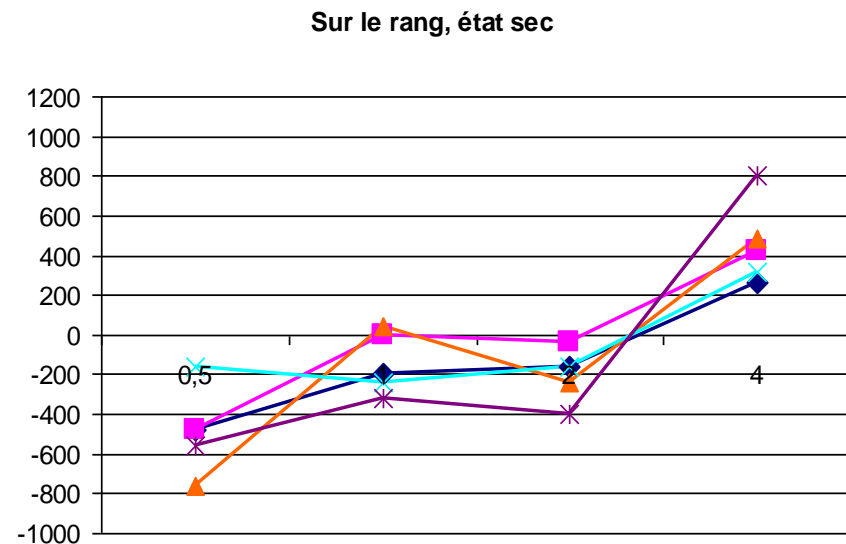
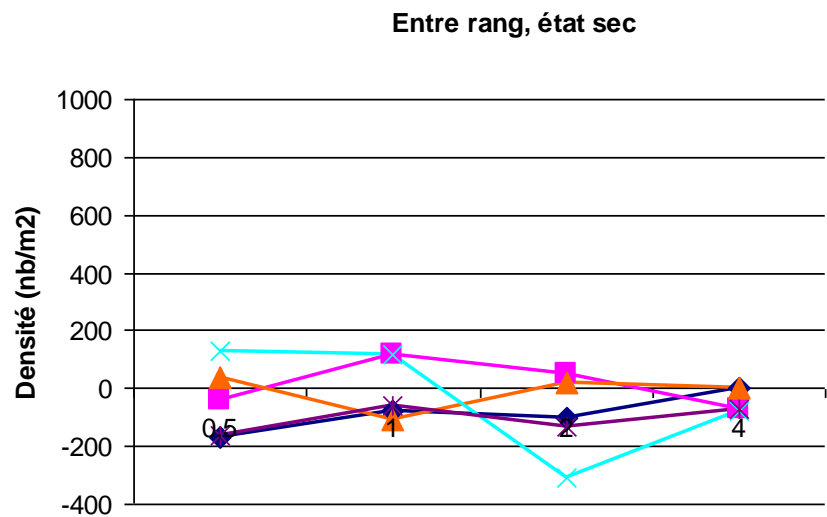
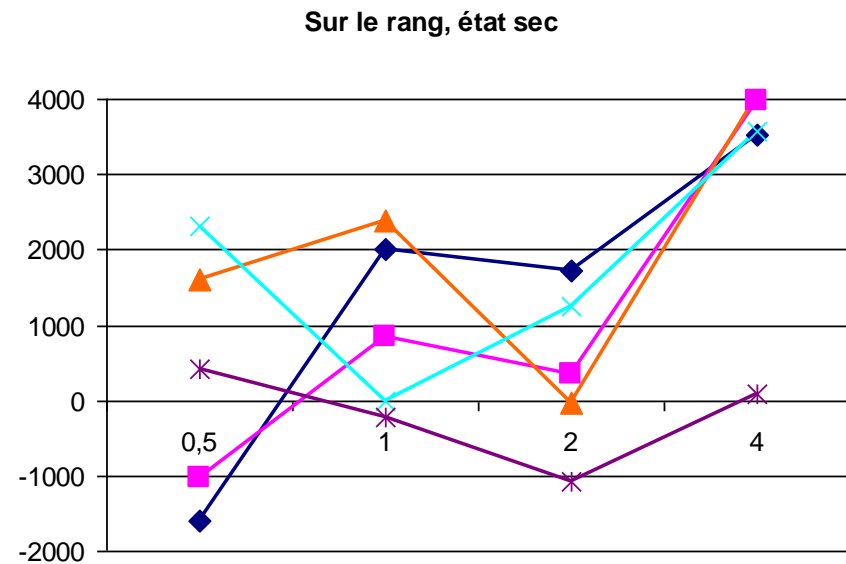
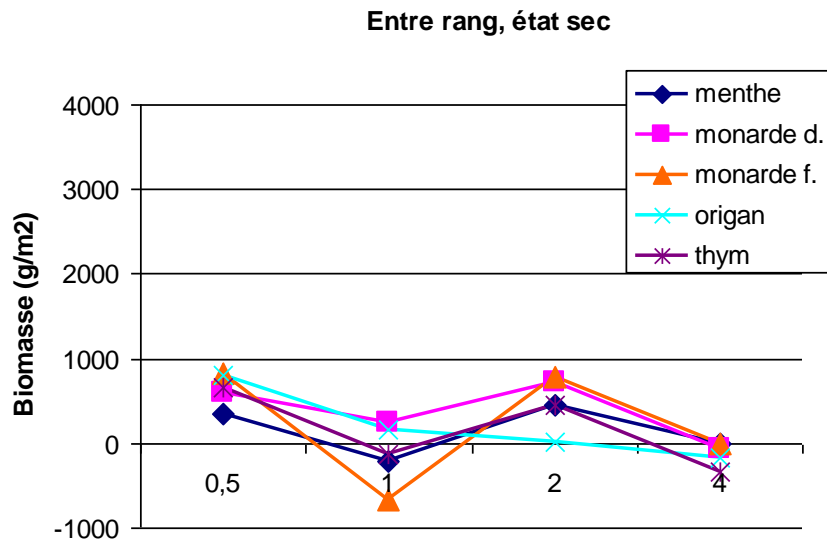


Figure 2 : Représentation graphique de l'effet allélopathique des pailis sous forme sèche, selon les espèces utilisées et les doses appliquées. Les deux graphiques du haut représentent la biomasse qui a été réprimée par l'allélopathie, les deux du bas indiquent la densité des mauvaises herbes réprimées, les deux graphiques de gauche représentent la zone sur le pailis (entre-rang) et les deux de droite la zone dégagée sur le rang. St-Bruno-de-Montarville, 2011.

Rendement de la carotte

Chacun des facteurs de traitement a eu un impact significatif au niveau du rendement de la carotte en 2010 (tableau 8). La présence de paillis a diminué significativement les rendements totaux et vendables. Le rendement total observé dans les paillis était plus de la moitié moins que celui observé dans les parcelles désherbées manuellement. Les doses appliquées ont aussi influencé les rendements. Plus la dose est forte, plus les récoltes étaient meilleures, cependant encore différentes du témoin désherbé manuellement. Lorsque le paillis était congelé, le rendement était plus élevé. La récolte fut aussi meilleure dans les zones du paillis où il y a eu du désherbage manuel. Les données de 2010 nous ont permis de déterminer que le désherbage manuel doit être fait conjointement avec l'application de paillis car, même si la croissance des mauvaises herbes est ralentie par les paillis, il arrive un moment dans la saison où certaines mauvaises herbes prennent le dessus et compétitionnent significativement avec la carotte. C'est pour cette raison que le rendement en 2011 ne fut évalué que dans la zone désherbée manuellement. Les valeurs précises de chacun des traitements sont représentées en Annexe 1.

Tableau 8. Rendement de la carotte selon les différentes espèces de paillis, l'état du paillis, de la dose et de la zone de récolte en 2010, à St-Bruno-de-Montarville.

		Rendement total kg ha ⁻¹	Rendement vendable kg ha ⁻¹
Espèce		***	***
	Menthe	15651,1 b	10732,0 b
	Monarde	12990,0 b	7713,0 b
	TDM	37530,0 a	30768,4 a
	TE	2082,8 c	88,5 c
Dose		***	***
	0,5	9337,5 d	3515,2 d
	1	11558,1 cd	6925,8 cd
	2	15366,3 bc	9998,9 bc
	4	21020,2 b	16450,1 b
	TDM	37530,0 a	30768,4 a
	TE	2082,8 e	88,5 e
État		***	***
	Conge	18154,8 b	13043,4 b
	sec	10486,3 c	5401,6 c
	TDM	37530,0 a	30768,4 a
	TE	2082,8 d	88,5 d
Désherb		***	***
	Desh	19196,2 a	13832,5 a
	Enh	10090,2 b	5342,6 b
Dose x sp		.	
État x dose			**
Rep			

Code représentant les valeurs de probabilités attribuées à chacun des facteurs des ANOVA : P<0,001 ; '***', P=0,001;0,01 ; '**', P=0,01;0,05 ; '*', P=0,05;0,1 ; '.', P>0,1 ; '---'. Les groupes se voyant attribués la même lettre selon chacune des variables (sous une même colonne) ne sont pas significativement différents, seuil alpha = 0,05. La liste des transformations des données pour ajustement aux critères statistiques est présentée en Annexe 2.

Les paillis ont diminué les rendements potentiels en 2011, comparés au traitement désherbé manuellement, cependant avec des valeurs plus élevées qu'en 2010 (tableau 9). Aucune espèce spécifique n'a eu d'impact sur les rendements totaux et vendables. L'impact des doses est cependant l'inverse de que nous avons observé en 2010. Plus les doses étaient faibles, plus les rendements étaient meilleurs. Les doses 0,5 et 1 kg m⁻² ont même eu des rendements similaires au témoin désherbé manuellement. Puisque ces zones dans les parcelles ont été désherbées manuellement, la diminution de rendement ne peut être expliquée que par un effet allélopathique sur la levée ou la croissance de la carotte ou par un effet physique potentiel lorsque parfois le paillis retombait sur le rang. Cependant, en sachant avec les graphiques 1 et 2 que c'est l'effet allélopathique et non physique qui a joué un grand rôle dans la diminution de la croissance avec des doses de plus en plus fortes, l'effet allélopathique phytotoxique est plus probable. En 2011, nous n'avons pas observé de différences entre les conditions de conservation du paillis sur le rendement. Les valeurs précises de chacun des traitements sont représentées en Annexe 1.

Tableau 9. Rendement de la carotte selon les différentes espèces de paillis, l'état du paillis et de la dose en 2011, à St-Bruno-de-Montarville.

		Rendement total kg ha ⁻¹	Rendement vendable kg ha ⁻¹
Espèce		***	***
	Avoine	28696,7 b	18095,3 b
	Menthe	30395,5 b	21887,3 b
	Monarde f.	32925,2 b	22173,2 b
	Thym	34085,0 b	23251,0 b
	Origan	29393,4 b	20394,5 b
	Monarde d.	31862,7 b	20865,8 b
	TDM	44172,1 a	31614,8 a
	TE	4016,4 c	1180,3 c
Dose		***	***
	0,5	36820,4 ab	24319,7 ab
	1	37677,6 ab	25919,4 ab
	2	30523,9 bc	20582,0 bc
	4	19883,9 c	13623,6 c
	TDM	44172,1 a	31614,8 a
	TE	4016,4 d	1180,3 d
État		---	---
	Conge	31077,5	21228,5
	Sec	31375,3	20993,9
	TDM	44172,1	31614,8
	TE	4016,4	1180,3
Espèce x État		*	
Rep			

Code représentant les valeurs de probabilités attribuées à chacun des facteurs des ANOVA : P<0,001 ; '***', P=0,001;0,01 ; '**', P=0,01;0,05 ; '*', P=0,05;0,1 ; '.', P>0,1 ; '---'. Les groupes se voyant attribués la même lettre selon chacune des variables (sous une même colonne) ne sont pas significativement différents, seuil alpha = 0,05. La liste des transformations des données pour ajustement aux critères statistiques est présentée en Annexe 2.

Densité et biomasse des mauvaises herbes – La Malbaie

La présence du paillis de menthe et monarde ont réduit les populations de mauvaises herbes dans les parcelles expérimentales à un niveau inférieur à celui du témoin enherbé, statistiquement semblable au témoin désherbé manuellement (figure 3). Cet effet est observé au niveau de la densité et de la biomasse totale des mauvaises herbes. Nous avons cependant observé dans les essais avec paillis de monarde que plusieurs des mauvaises herbes présentes étaient de la monarde. De fait, comme l'essai a été réalisé plus tardivement dans la saison, la biomasse récoltée était au stade fin de floraison début de production de graines. L'utilisation des paillis à ce stade aurait donc entraîné l'introduction de graines de monarde. Cependant, la lutte à cette mauvaise sera facile à contrôler lors de la prochaine saison. C'est cependant un élément important à prendre en considération lors de la récolte des paillis.

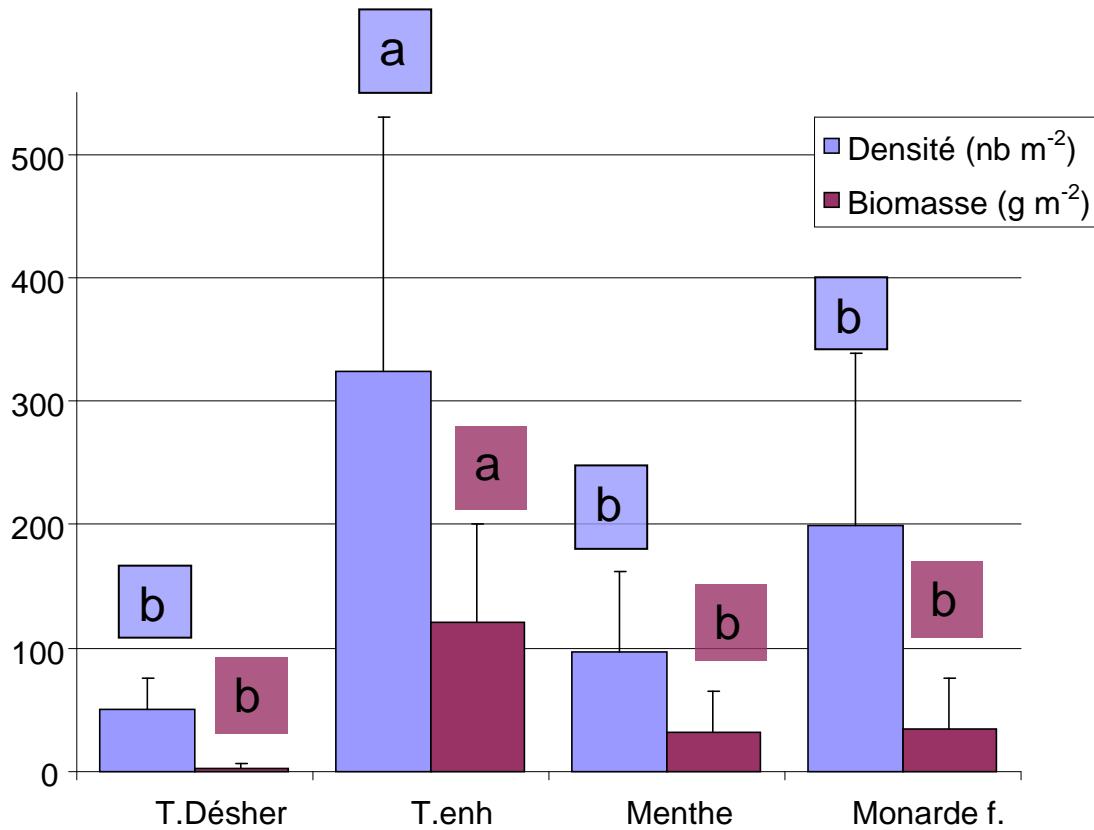


Figure 3 : Représentation graphique de la densité et biomasse sèche des mauvaises herbes (\pm écart type) sous différents traitements de paillis de plantes aromatiques en 2011, à La Ferme des Monts, La Malbaie. Les colonnes avec les mêmes lettres ne sont pas significativement différentes, seuil $\alpha=0,05$.

Rendement de la betterave – La Malbaie

Les rendements de betteraves observés ne sont pas statistiquement différents entre les traitements mis en place à la Ferme des Monts. Même avec un rendement moyen légèrement plus faible, le témoin enherbé n'est pas significativement différent des autres traitements. Le fumier de cheval utilisé contenait beaucoup de sciures de pin et de cèdre, ce qui a causé une carence en N. Les symptômes observés étaient la couleur du feuillage des betteraves et des rendements beaucoup plus faibles que d'autres années où les mêmes variétés ont été utilisées dans la même parcelle. La carence en N observée dans le champ n'a pas permis l'expression réelle du rendement et ainsi limite peut-être les conclusions quant à l'impact réelle des traitements sur les rendements.

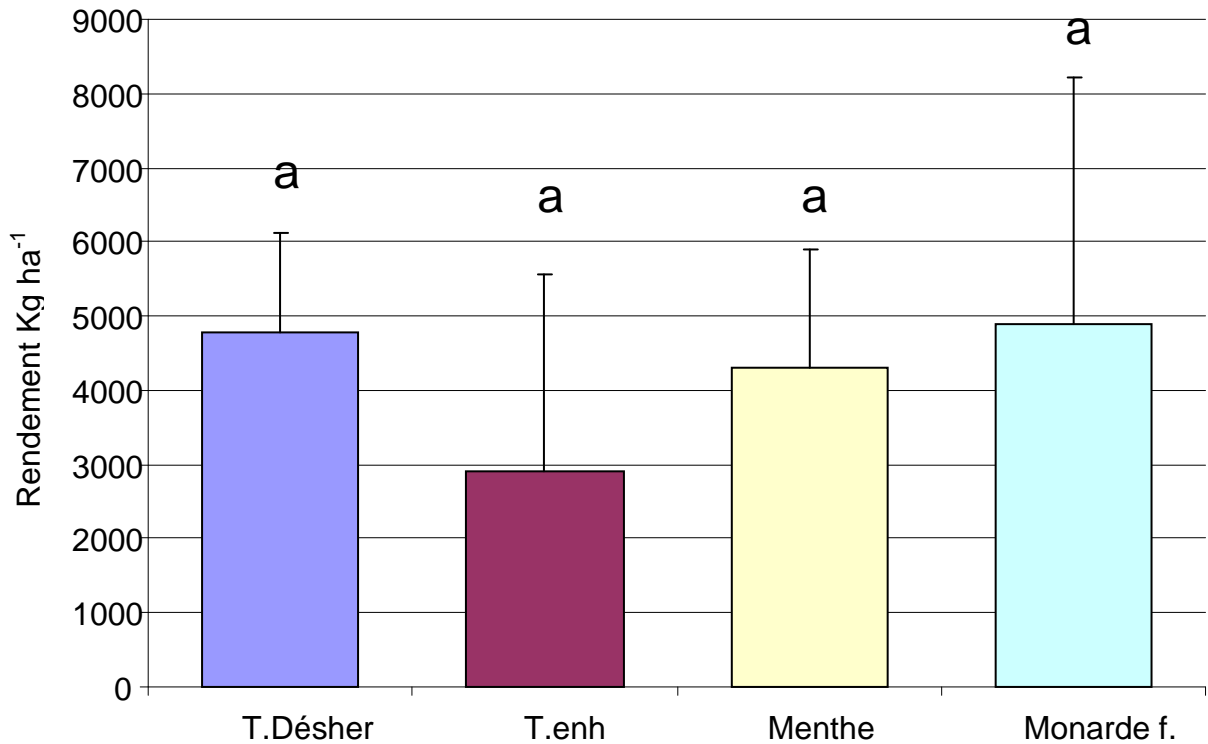


Figure 4 : Représentation graphique du rendement total (\pm écart type) de betterave sous différents traitements de paillis de plantes aromatiques La Ferme des Monts, La Malbaie, 2011. Les colonnes avec les mêmes lettres ne sont pas significativement différentes, seuil $\alpha=0,05$.

RÉSULTATS VOLET 2

Biomasse des cultures intercalaires

La biomasse des cultures intercalaires implantées est utilisée ici pour relativiser leur importance par rapport à la culture de brocoli et refléter ainsi leur apport en huiles essentielles. La menthe avait une biomasse de $42,32 \pm 5,3 \text{ g m}^{-2}$ (\pm erreur-type), l'origan $31,4 \pm 5,1 \text{ g m}^{-2}$ (\pm erreur type) et le thym $20,8 \pm 2,7 \text{ g m}^{-2}$ (\pm erreur type) en 2010. Les données de biomasse ainsi que la hauteur moyenne et la largeur du feuillage sont indiquées dans le tableau 10.

Tableau 10. Description et biomasse sèche (\pm erreur type) des plantes aromatiques utilisées comme culture intercalaire en 2011, à St-Bruno-de-Montarville

	Biomasse (g m ⁻²)	Hauteur moyenne (cm)	Largeur du feuillage (cm)
Menthe	146,8 (13,7)	45,8 (0,5)	28,8 (3,4)
Origan	59,6 (4,6)	15,5 (1,2)	22,5 (1,8)
Thym	35,3 (1,4)	18,0 (1,5)	15 (1,1)

Densité et biomasse des mauvaises herbes

En 2010, la présence de la menthe et du thym semble avoir diminué le poids des mauvaises herbes que l'on retrouve sur le rang de brocolis. Cependant, une analyse plus poussée nous montre qu'il n'y a pas de différence statistique entre les différentes plantes aromatiques, ni avec le témoin enherbé dans la zone sur le rang et entre le rang (tableau 11).

Tableau 11. Impact des cultures intercalaires de menthe, d'origan et thym avec le brocoli sur les populations de mauvaises herbes sur le rang et l'entre-rang en 2010, à St-Bruno de Montarville.

Plantes aromatiques	Entre-rang		Sur le rang	
	Densité totale (m ⁻²) ***	Biomasse totale (g m ⁻²) ***	Densité totale (m ⁻²) ***	Biomasse totale (g m ⁻²) ***
Menthe	97,5 a	544,5 a	22,5 a	32,0 a
Thym	77,5 a	562,1 a	40,0 a	85,2 a
Origan	70,0 a	389,9 a	47,5 a	166,3 a
TDM	0,0 b	0,0 b	0,0 b	0,0 b
TE	75,0 a	717,8 a	35 a	191,5 a

Code représentant les valeurs de probabilités attribuées à chacun des facteurs des ANOVA : P<0,001 ; '***', P=0,001;0,01 ; '**', P=0,01;0,05 ; '*', P=0,05;0,1 ; '.', P>0,1 ; '---'. Les groupes se voyant attribués la même lettre selon chacune des variables (sous une même colonne) ne sont pas significativement différents, seuil alpha = 0,05. La liste des transformations des données pour ajustement aux critères statistiques est présentée en Annexe 2.

Les populations de mauvaises herbes en 2011 étaient supérieures en nombre et en biomasse totale. La densité des mauvaises herbes s'élevait à 1940 individus m⁻² alors que leur biomasse sèche par m⁻² était 1760,6 g m⁻² dans le témoin enherbé. Les populations étaient dominées par *Digitaria ischaemum* à 53,6 %, *Chenopodium album* à 19,1%, *Amaranthus retroflexus* à 14,4% et *Ambrosia artemisiifolia* à 5,7 %. Les mauvaises herbes n'étaient pas présentes dans les parcelles de brocoli intercalé de plantes aromatiques car elles avaient été désherbées mécaniquement et manuellement tout au long de la saison.

Rendement du brocoli

En 2010, la présence de culture intercalaire a eu un effet négatif sur le rendement total du brocoli, comparé au traitement dés herbé manuellement. L'impact des cultures intercalaires dans notre contexte a été comparable à un traitement où il n'y a pas du tout de dés herbage (tableau 12). Seul le traitement dés herbé manuellement est significativement plus élevé avec un rendement moyen de 9233,3 kg ha⁻¹. En 2011, en distançant les plantes allélopathiques au centre du rang, nous n'avons pas observé d'impact négatif sur le rendement total, le rendement vendable et le diamètre des brocolis vendable. À une distance de 38 cm des plants de brocolis, les plantes allélopathiques n'ont pas nui à la croissance des brocolis, et donc pourraient être implantées en culture d'appoint et apporter un revenu supplémentaire aux producteurs. L'évaluation des populations d'insectes nuisibles et de la faune auxiliaire bénéfique associée à ces cultures devraient être effectuée pour attribuer d'autres avantages au compagnonnage de ces cultures.

Tableau 12. Impact des cultures intercalaires de menthe, d'origan et de thym sur le rendement de brocolis, comparé au témoin enherbé et au témoin dés herbé manuellement en 2010 et 2011, à St-Bruno-de-Montarville.

Espèce	2010		2011		
	Rendement total kg ha ⁻¹ **	Diamètre total (mm)	Rendement total kg ha ⁻¹ ***	Rendement vendable kg ha ⁻¹ **	Diamètre vendable (mm) ***
Menthe	6135,2 b	70,0	13 069,1a	10424,3 a	104,0 a
Thym	6316,7 b	76,4	14963,8 a	14523,3 a	111,9 a
Origan	6207,4 b	74,6	14394,7 a	11164,5 a	103,6 a
TDM	9233,3 a	90,8	15008,7 a	13532,9 a	119,5 a
TE	6288,9 b	75,7	4687,5 b	0,0 b	0,0 b

Code représentant les valeurs de probabilités attribuées à chacun des facteurs des ANOVA : P<0,001 ; '***', P=0,001;0,01 ; '**', P=0,01;0,05 ; '*', P=0,05;0,1 ; '.', P>0,1 ; '---'. Les groupes se voyant attribués la même lettre selon chacune des variables (sous une même colonne) ne sont pas significativement différents, seuil alpha = 0,05. La liste des transformations des données pour ajustement aux critères statistiques est présentée en Annexe 2.

RÉSULTATS VOLET 3

Selon les observations faites au champ en 2009, le muka de sapin était très efficace contre les mauvaises herbes, mais aussi phytotoxique pour la culture de brocoli. Les têtes de brocoli étaient moins grosses et la maturité était retardée par rapport aux parcelles témoins. À cet effet, le rendement moyen en brocoli des différents traitements était de 6977 kg ha⁻¹ pour le témoin dés herbé, de 5826,7 kg ha⁻¹ pour le témoin enherbé, de 3293,3 kg ha⁻¹ pour le muka de sapin incorporé dans le sol et de 3926,7 kg ha⁻¹ pour le muka de sapin laissé à la surface du sol. Quant à la hauteur des plants, les résultats varient de 43,8 cm pour le témoin dés herbé, de 44,0 cm pour le témoin enherbé, de 33,5 cm pour le muka de sapin incorporé dans le sol et de 28,0 cm pour le muka de sapin appliqué à la surface du sol. La biomasse des mauvaises herbes était de 0,0 g m⁻² pour le témoin dés herbé, de 46,5 g m⁻² pour le témoin enherbé, de 48,5 g m⁻² pour le muka de sapin incorporé dans le sol et de 8,0 g m⁻² pour le muka de sapin laissé à la surface du sol. Quant à la densité des mauvaises herbes annuelles dicotylédones, elle était de 0,0 m⁻² pour le témoin dés herbé, 62,5 m⁻² pour le témoin enherbé, 6,5 m⁻² pour le muka de sapin incorporé dans le sol et de 9,0 m⁻² pour le muka de sapin laissé à la surface du sol.

Rendement de brocoli

L'apport de muka de monarde a réduit le rendement total du brocoli (figure 5). Qu'il ait été incorporé ($3162,0 \pm 6,5 \text{ kg ha}^{-1}$) ou laissé en surface ($3205,6 \pm 7,4 \text{ kg ha}^{-1}$), les rendements observés étaient similaires à ceux des parcelles enherbées ($3059,3 \pm 2,8 \text{ kg ha}^{-1}$). Le meilleur rendement a été obtenu avec le témoin désherbé manuellement ($4490,7 \pm 23,4 \text{ kg ha}^{-1}$) (ANOVA : $P = 0,0046$, $\alpha = 0,05$).

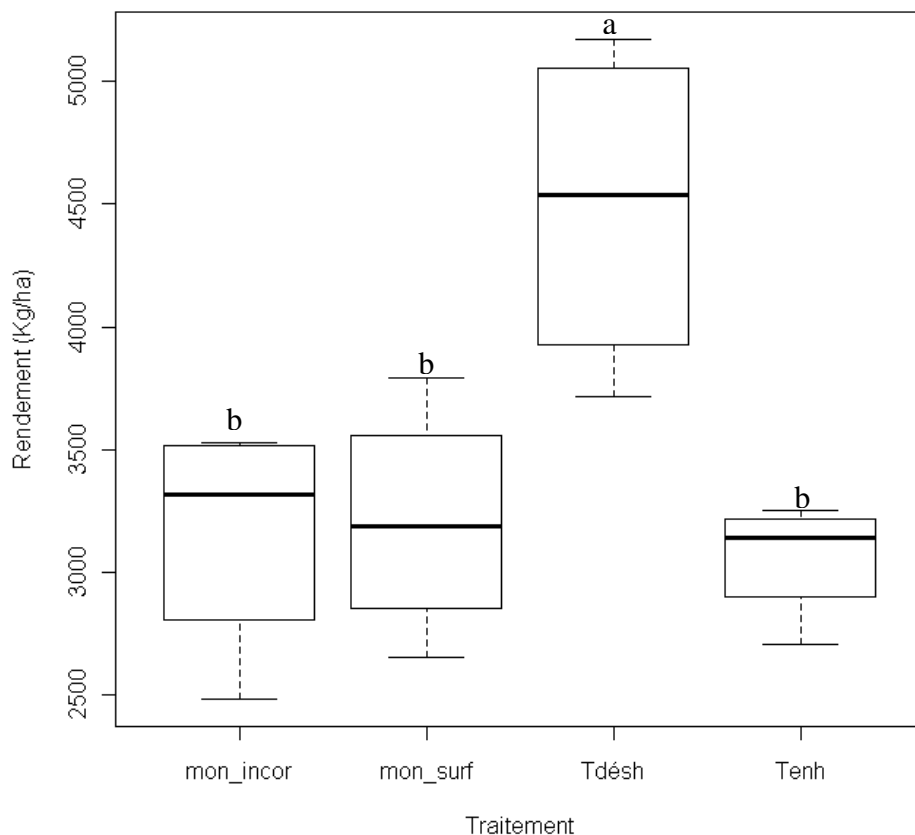


Figure 5 : Rendement total de brocolis observés en fonction des traitements de désherbage mis en place (Monarde incorporée = mon_incor ; Monarde laissée en surface = mon_surf ; Témoin enherbé = Tenh et témoin désherbé manuellement = Tdesh) en 2010 à St-Bruno-de-Montarville. Les traitements regroupés par les mêmes lettres ne sont pas significativement différents, seuil alpha= 0,05.

Le même effet a été observé au niveau du diamètre des brocolis en fonction des traitements mis en place (figure 6). Les diamètres mesurés ont varié de $73,1 \pm 7,4$ mm (\pm écart-type) pour le traitement de monarde en surface à $94,5 \pm 12,4$ mm (\pm écart-type) pour le traitement désherbé manuellement. Ce traitement est le seul qui fut significativement différent des autres (ANOVA : $P=0,00458$, $\alpha=0,05$).

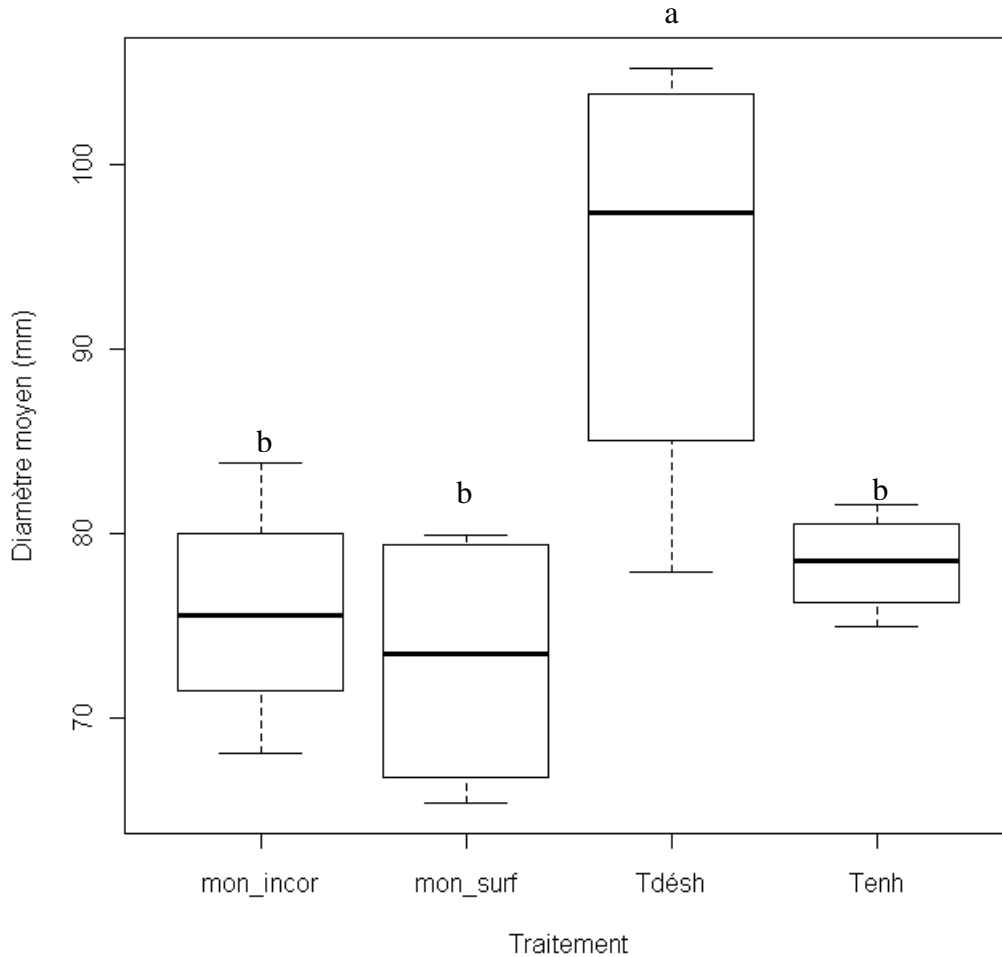


Figure 6 : Diamètre moyen (mm) des brocolis en fonction des traitements de désherbage mis en place (Monarde incorporée = mon_incor ; Monarde laissée en surface = mon_surf; Témoin enherbé = Tenh et témoin désherbé manuellement = Tdesh). St-Bruno-de-Montarville, 2010. Les traitements regroupés par les mêmes lettres ne sont pas significativement différents seuil $\alpha=0,05$.

En 2010, les populations de mauvaises herbes ont encore une fois été réduites par la présence de muka (tableau 13). Cependant, l'impact du muka n'est statistiquement observable que dans la zone d'entre-rang. Sur le rang, il n'y a pas de différence significative entre le témoin enherbé et les traitements au muka.

Tableau 13. Impact de la présence de muka incorporé ou en surface de monarde sur les populations de mauvaises herbes, selon la zone sur le rang ou entre le rang, comparé au témoin enherbé et au témoin désherbé manuellement en 2010, à St-Bruno-de-Montarville

Traitements	Entre-rang		Sur le rang	
	Densité totale (m ⁻²) ***	Biomasse totale (g m ⁻²) ***	Densité totale (m ⁻²) ***	Biomasse totale (g m ⁻²) ***
Monarde surface	50,0 b	216,0 b	40,0 a	47,7 a
Monarde incorporé	62,5 b	183,3 b	52,5 a	75,1 a
TDM	0,0 c	0,0 c	0,0 b	0,0 b
TE	95,0 a	764,8 a	47,5 a	137,9 a

Code représentant les valeurs de probabilités attribuées à chacun des facteurs des ANOVA : P<0,001 ; '***', P=0,001;0,01 ; '**', P=0,01;0,05 ; '*', P=0,05;0,1 ; '.', P>0,1 ; '---'. Les groupes se voyant attribués la même lettre selon chacune des variables (sous une même colonne) ne sont pas significativement différents, seuil alpha = 0,05. La liste des transformations des données pour ajustement aux critères statistiques est présentée en Annexe 2.

RÉSULTATS VOLET 4

Impacts des huiles essentielles sur la germination

En visualisant le pourcentage global de germination ajustée (Abbott, 1925) des 4 mauvaises herbes selon les huiles testées et les concentrations appliquées lors des essais, hormis *M. spicata*, toutes les huiles essentielles ont démontré un potentiel de répression de la germination. Cette différence est soulignée dans le tableau 14. Il est important de se rappeler qu'un très faible taux d'alcool monoterpénique avait été mesuré pour cette espèce. Les huiles testées qui démontrent une répression intermédiaire globale sont la *M. piperita* et le *T. vulgaris*. Enfin, les deux espèces de Monarde et *O. vulgare* ont démontré une toxicité plus sévère. L'allélopathie existe et son impact sur la germination augmente avec les concentrations appliquées. Une concentration de 800 ppm est requise pour observer une diminution significative de la germination. De plus, nous observons que selon l'huile appliquée, l'effet de la concentration n'est pas la même sur la germination des mauvaises herbes, selon l'interaction significative. Les figures 7 à 12 nous permettent de mieux visualiser et comprendre l'impact de chaque huile sur chacune des mauvaises herbes testées.

Tableau 14. Pourcentage de germination des quatre mauvaises herbes en fonction de l'exposition à différentes dilutions d'huiles de plantes aromatiques.

Huile ***	Concentration (ppm) ***					T- Eau	T-alcool
	200 a	400 a	800 b	1600 c	3200 d		
<i>Mentha piperita</i> b	96,1	94,0	100,1	86,3	66,5	78,0	78,4
<i>Mentha spicata</i> a	108,8	107,1	109,3	101,0	95,6	82,9	76,2
<i>Monarda didyma</i> c	99,0	102,5	77,7	48,0	19,9	77,3	79,8
<i>Monarda fistulosa</i> c	95,7	85,9	78,8	50,4	28,5	80,9	79,6
<i>Origanum vulgare</i> c	91,1	90,1	79,5	72,5	24,9	79,0	84,2
<i>Thymus vulgaris</i> b	105,1	101,7	98,5	81,2	43,2	74,2	77,0
Huile x Doses ***							

Germination ajustée selon la formule d'Abbott, observation à 21 jours post-traitement. Code représentant les valeurs de probabilités attribuées à chacun des facteurs des ANOVA : P<0,001 ; '***', P=0,001;0,01 ; '**', P=0,01;0,05 ; '*', P=0,05;0,1 ; '.', P>0,1 ; '---'. Les groupes se voyant attribués la même lettre selon chacune des variables (sous une même colonne) ne sont pas significativement différents, seuil alpha = 0,05. La liste des transformations des données pour ajustement aux critères statistiques est présentée en Annexe 2.

Chez la *M. piperita* (figure 7), malgré une réponse un peu plus faible du *C. album* aux concentrations plus faible, l'impact majeur de l'huile s'observe à la plus forte concentration, abaissant le niveau de germination pour les 4 mauvaises herbes à près de 65 % en moyenne.

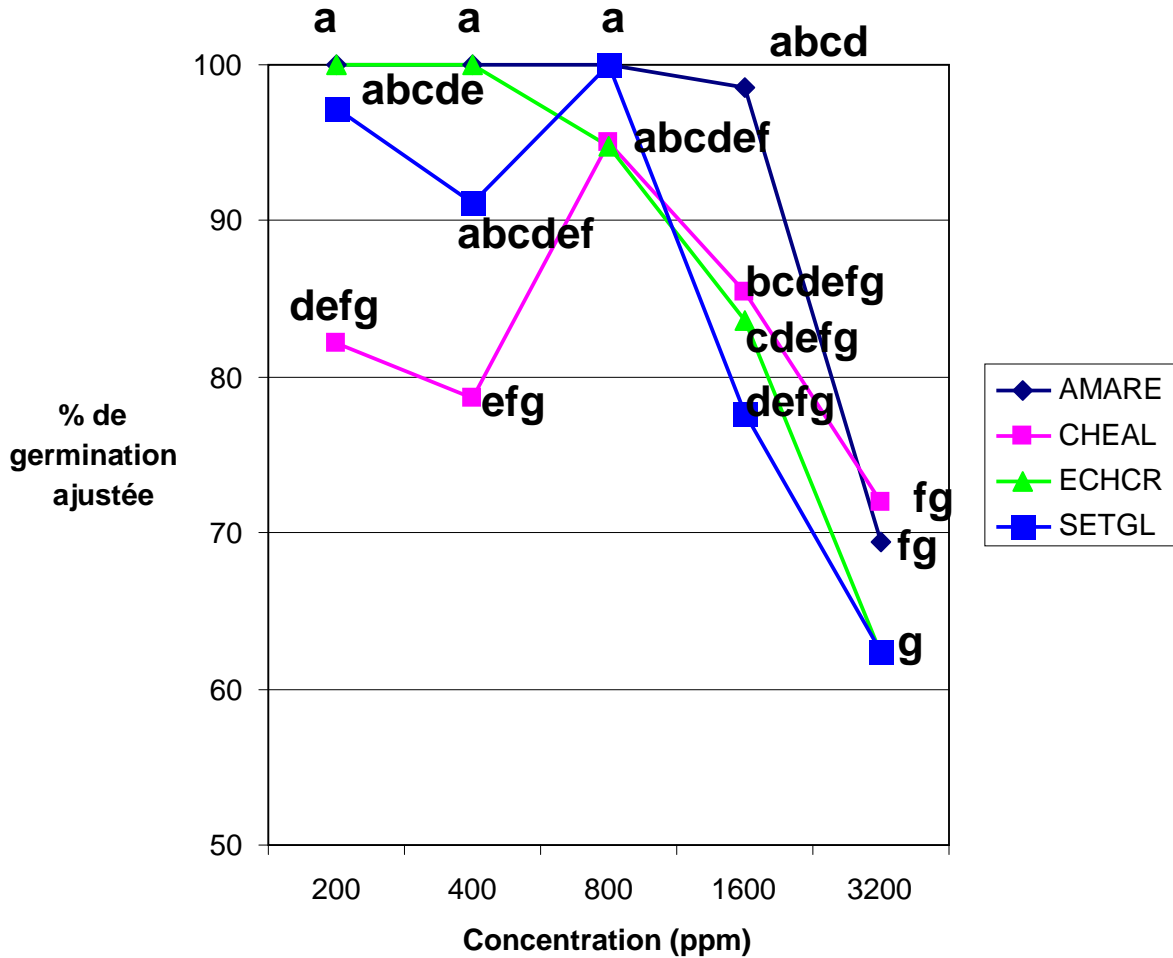


Figure 7. Pourcentage de germination en laboratoire de 4 espèces de mauvaises herbes en fonction de différentes concentrations d'huile de *Mentha piperita*. Germination ajustée selon la formule d'Abbott, observation à 21 jours post-traitement. Note : L'axe des ordonnées se termine à 50 pour faciliter la visualisation des groupements statistiques. Les traitements regroupés par les mêmes lettres ne sont pas significativement différents, seuil alpha= 0,05.

La *M. spicata* est l'huile ayant le moins d'impact sur la germination des mauvaises herbes. Cependant, la réponse des 4 espèces à l'étude n'est pas la même (figure 8). L'amarante à racine rouge est l'espèce la plus sensible, chez laquelle la concentration de 1600 ppm provoque une baisse drastique de la germination, encore plus prononcée que les autres espèces. La sétaire glauque réagit de façon intermédiaire et le chénopode blanc ainsi que l'échinochloa pied-de-coq sont peu ou pas affectés par les différentes concentrations d'huile de *M. spicata*.

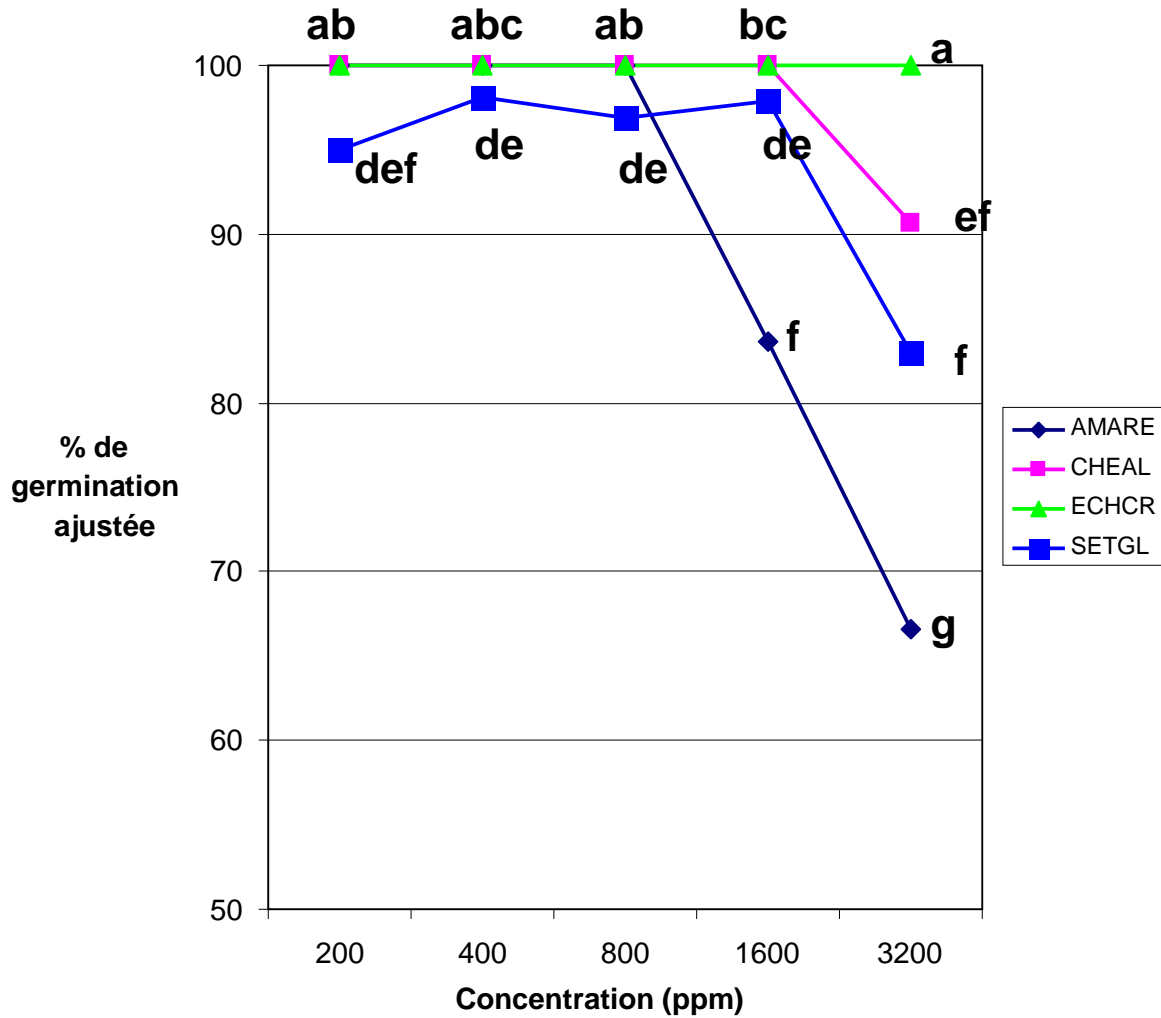


Figure 8. Pourcentage de germination en laboratoire de 4 espèces de mauvaises herbes en fonction de différentes concentrations d'huile de *Mentha spicata*. Germination ajustée selon la formule d'Abbott, observation à 21 jours post-traitement. Note : L'axe des ordonnées se termine à 50 pour faciliter la visualisation des groupements statistiques. Les traitements regroupés par les mêmes lettres ne sont pas significativement différents, seuil alpha= 0,05.

La réponse des quatre mauvaises herbes à l'étude aux différentes concentrations d'huile de *M. fistulosa* est globalement semblable (figure 9). La diminution de la germination est constante avec une augmentation de l'exposition des semences à l'huile. Même sans différence statistique, à la dose la plus forte, il semble que les deux monocotylédones soient légèrement plus affectées que les dicotylédones. Aux concentrations plus faibles, la germination de l'amarante à racine rouge est réduite significativement.

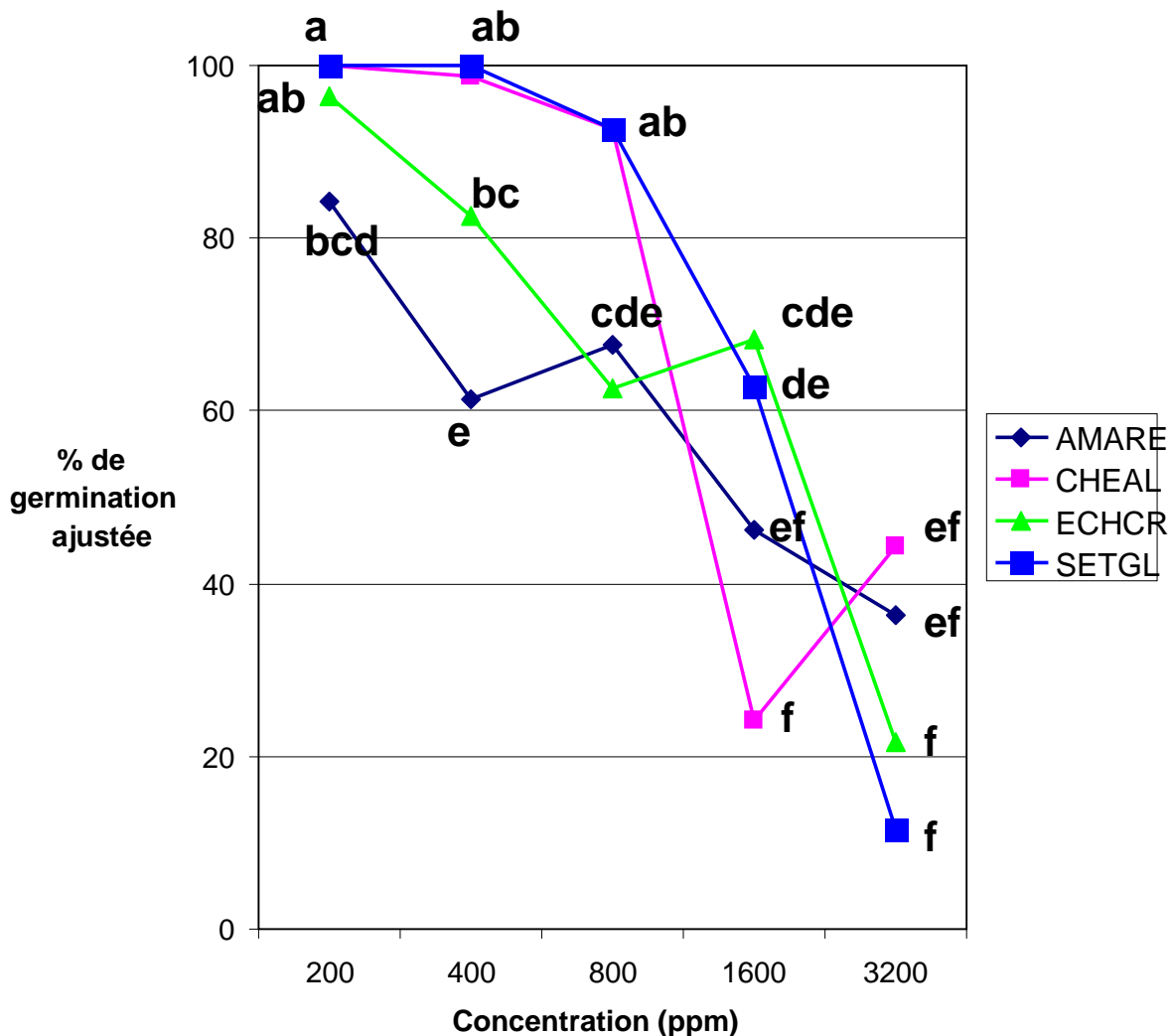


Figure 9. Pourcentage de germination en laboratoire de 4 espèces de mauvaises herbes en fonction de différentes concentrations d'huile de *Monarda fistulosa*. Germination ajustée selon la formule d'Abbott, observation à 21 jours post-traitement. Les traitements regroupés par les mêmes lettres ne sont pas significativement différents, seuil alpha= 0,05.

L'impact de l'huile de *M. didyma* est similaire à celui observé chez la *M. fistulosa*, cependant avec un effet beaucoup plus important sur la germination de l'amarante à racine rouge à partir de la concentration de 1600 ppm (figure 10). La germination subit une diminution drastique, passant de plus de 90 % à moins de 10 %, pour devenir nulle à 3200 ppm.

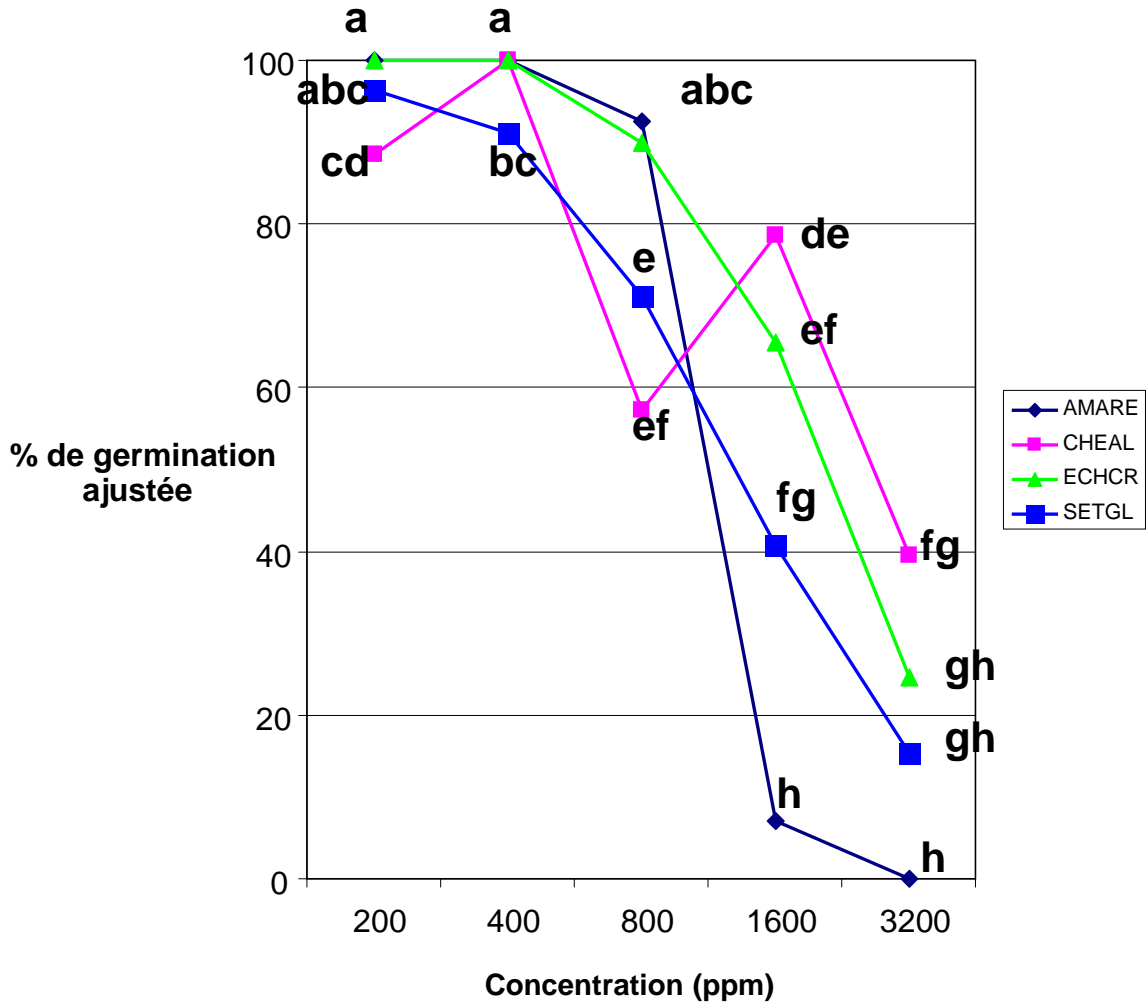


Figure 10. Pourcentage de germination en laboratoire de 4 espèces de mauvaises herbes en fonction de différentes concentrations d'huile de *Monarda didyma*. Germination ajustée selon la formule d'Abbott, observation à 21 jours post-traitement. Les traitements regroupés par les mêmes lettres ne sont pas significativement différents, seuil alpha= 0,05.

La germination sous l'effet de l'huile d'*O. vulgare* diminue progressivement aux concentrations plus faibles, puis chute drastiquement à 3200 ppm (figure 11). Il y a en effet beaucoup de chevauchement des groupements statistiques entre les concentrations de 200 à 1600 ppm. L'amarante à racine rouge est encore une fois la plus sensible, suivie de la sétaire glauque, de l'échinochloa pied-de-coq, puis du chénopode blanc.

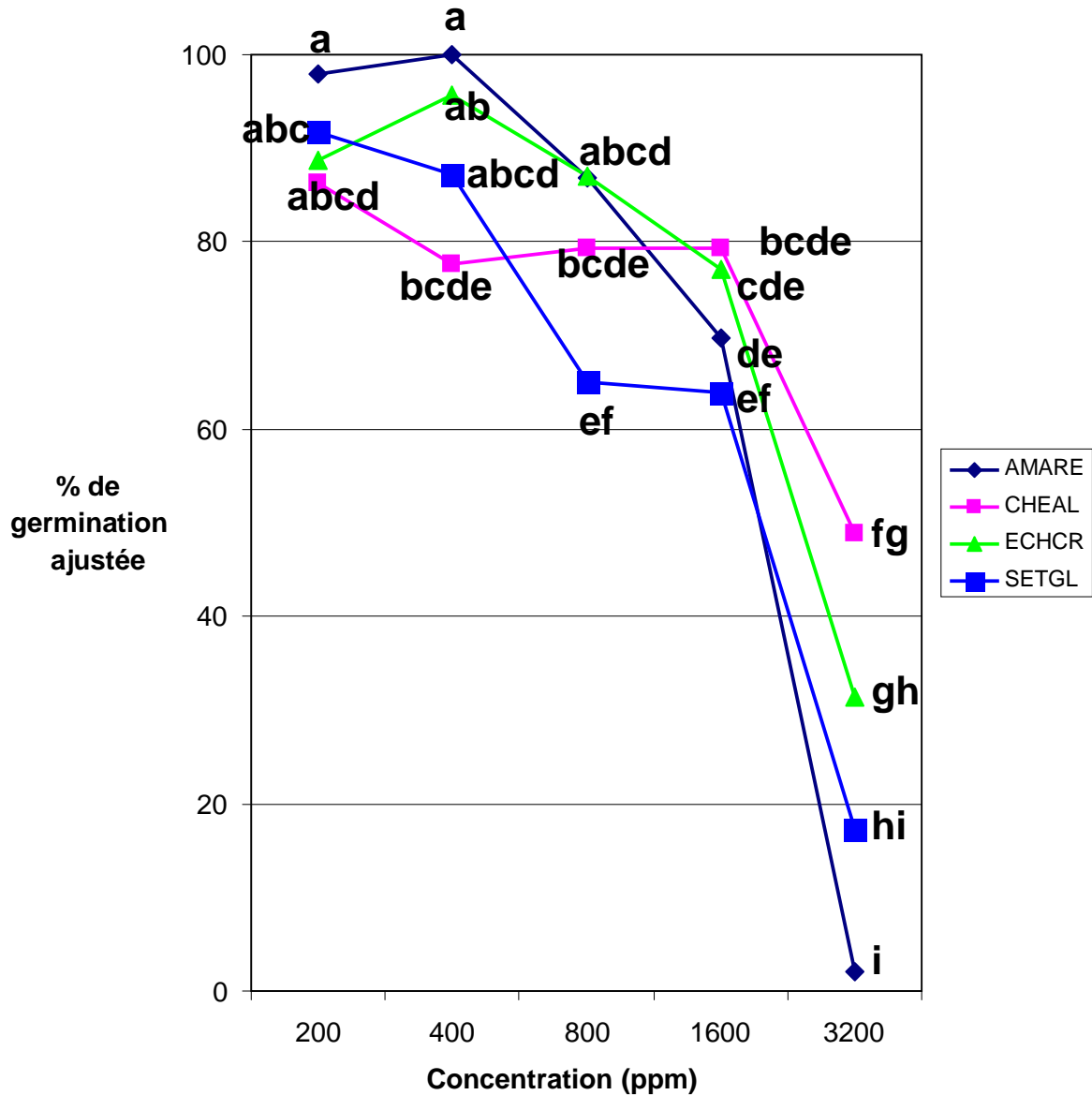


Figure 11. Pourcentage de germination en laboratoire de 4 espèces de mauvaises herbes en fonction de différentes concentrations d'huile d'*Origanum vulgare*. Germination ajustée selon la formule d'Abbott, observation à 21 jours post-traitement. Les traitements regroupés par les mêmes lettres ne sont pas significativement différents, seuil alpha= 0,05.

L'huile de *T. vulgaris* a eu un impact différent entre les quatre mauvaises herbes (figure 12). Le chénopode blanc et l'échinochloa pied-de-coq ont démontré une tolérance plus élevée à cette huile, même aux concentrations les plus élevées. Une diminution significativement plus basse commence à se faire ressentir à 3200 ppm, mais la germination demeure au-delà des valeurs de 70 %. Tout à l'opposé, un impact significatif est perçu à la dose 1600 ppm chez l'amarante à racine rouge et la sétaire glauque. À 3200, la germination de ces espèces est inférieure à 20 %. Ici encore, l'amarante a démontré une sensibilité accrue.

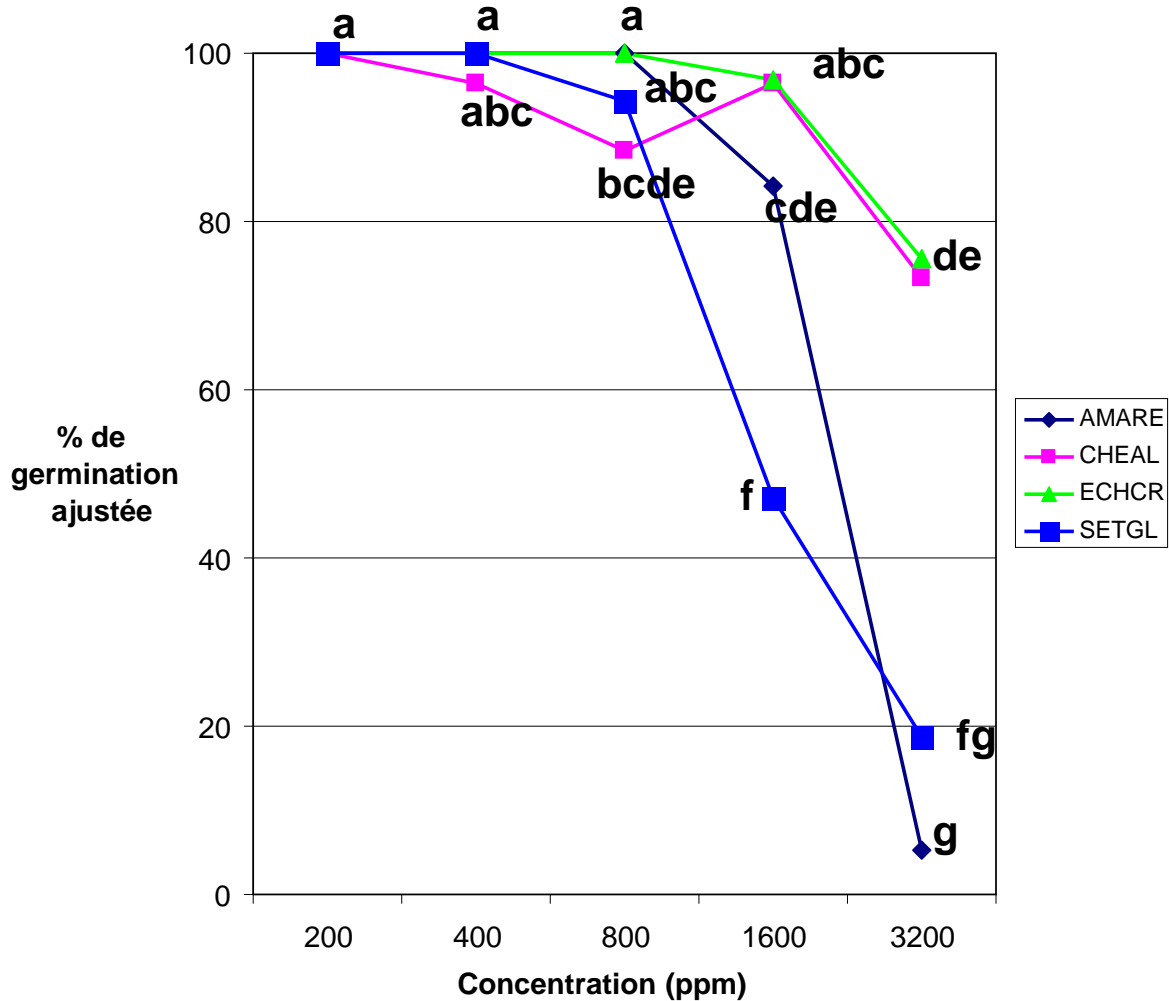


Figure 12. Pourcentage de germination en laboratoire de 4 espèces de mauvaises herbes en fonction de différentes concentrations d'huile de *Thymus vulgaris*. Germination ajustée selon la formule d'Abbott, observation à 21 jours post-traitement. Les traitements regroupés par les mêmes lettres ne sont pas significativement différents, seuil alpha= 0,05.

ANALYSE ÉCONOMIQUE

Volet 1. Le coût d'implantation d'une pépinière de *Monarda fistulosa* d'un hectare est de 5896\$ (tableau 15) Ce coût inclut les frais reliés à la production de plants en serre et à la transplantation au champ. Si on considère que la pépinière a une durée d'au moins 5 ans, le coût réparti annuellement revient à 1810\$. L'entretien saisonnier de la pépinière de monarde est minime car c'est une culture qui s'implante bien et couvre le sol rapidement. Un passage du sarclé au printemps et une fertilisation suffisent, équivalant à 760\$/an/ha. Au niveau de la récolte, deux scénarios ont été proposés pour son utilisation comme paillis l'année suivante : entreposer du matériel sec ou congeler le matériel humide fraîchement récolté. La différence de coût est énorme puisque la congélation coûte plus de 70 fois plus cher que le matériel sec. La congélation n'est pas une avenue viable à long terme. La pépinière d'un hectare produit 1.25 tonnes de matière sèche qui, à la dose de 2 kg/m², couvre le sol seulement sur une superficie de 0.06 ha qui coûte annuellement 1876\$. Il est beaucoup trop dispendieux d'utiliser des paillis de monarde dans le seul but de réprimer des mauvaises herbes alors que le sarclage mécanique coûte environ 27\$/ha.

Volet 2. Les résultats de 2010 n'ont pas démontré que l'utilisation de cultures intercalaires de plantes aromatiques réduisait significativement la levée et la croissance des mauvaises herbes. Cependant, lors de son implantation, elles pourraient être utilisées comme cultures secondaires avec une production horticole comme le brocoli. Les coûts de production de transplants en serre (2306\$), de transplantation au champ (2801\$), de fertilisation (3.5 t/ha d'Acti-sol x 366\$=1281\$) et de sarclage (3 sarclages x 27\$/ha=81\$) pour la culture intercalaire de fines herbes s'élèvent à près de 6500\$/ha. Le rendement du brocoli est similaire avec ou sans culture intercalaire donc il n'y a pas de baisse de revenu. Les dépenses additionnelles sont reliées à l'intercalaire qui peuvent être compensées par la vente de fines herbes au détail. Le rendement de la menthe, de l'origan et du thym était respectivement 146.8, 59.6 et 35.3 g/m² (tableau 10). Par exemple, si un bouquet de fines herbes se vend 2.00\$ pour 40 g (réf. : Provigo, 2012-11-28) et selon le rendement de chacune des fines herbes, il est possible d'avoir des revenus supplémentaires de 73400, 29802 et 17631\$/ha pour un intercalaire de menthe, d'origan ou de thym. De plus, puisque ces cultures sont vivaces, elles seront déjà implantées l'an prochain où le rendement sera probablement supérieur.

Volet 3. Comme la compagnie Aliksir a trouvé une autre avenue pour valoriser son muka, aucune analyse économique n'a été réalisée sur ce volet. Le muka est transformé en granules qui alimentent dorénavant les chaudières à vapeur au lieu l'utilisation traditionnelle de l'huile à chauffage.

Volet 4. L'utilisation d'huile de plantes aromatiques proprement dite comme désherbant est une technique trop dispendieuse pour être économiquement viable. Afin d'obtenir une répression d'environ 75% des mauvaises herbes, il faut utiliser la dose de 3200 ppm qui correspond à une application de 5.64 l/ha. Le prix de huile varie entre 2 et 3.75\$/ml. Il en coûterait entre 11280 et 21150\$/ha.

Tableau 15. Exemple de budget d'exploitation d'une pépinière de plantes aromatiques

A- Produits				
	Qté/ha	Prix unitaire (\$)	Total	Moy/5 ans
Matières végétales sèches (t)	1.25			
B-Coûts variables				
1.1- Approvisionnements en serre	Qté/ha	Prix unitaire (\$)	Total	Moy/5 ans
Semences <i>Monarda fistulosa</i> (graines)	66666	0.0144 \$	958.21 \$	191.64 \$
128 multicellules (plateaux)	521	1.0073 \$	524.83 \$	104.97 \$
1 Agro Mix Semis bio (l)	53.36	0.0988 \$	5.27 \$	1.05 \$
2 Terreau transplanteur bio (l)	106.72	0.2139 \$	22.83 \$	4.57 \$
1 Compost de crevettes (l)	53.36	0.1911 \$	10.20 \$	2.04 \$
1 fertilisant Acti-sol 4-4-2 (kg)	10.42	0.3660 \$	3.81 \$	0.76 \$
1.2- Opérations en serre	Qté/ha	Prix unitaire (\$)	Total	Moy/5 ans
Chauffage/électricité/irrigation automatisée (50\$/an/m ²) ¹ (plateaux)	521	1.5000 \$	781.50 \$	156.30 \$
2.1- Approvisionnements en champ	Qté/ha	Prix unitaire (\$)	Total	Moy/5 ans
1 fertilisant Acti-sol 4-4-2 (kg)	2000	0.3660 \$	732.00 \$	732.00 \$
2.2- Opérations culturales en champ	Qté/ha	Prix unitaire (\$)	Total	Moy/5 ans
Transplantation (transplants)	33333	0.0840 \$	2 801.09 \$	560.22 \$
Épandage d'engrais ²	1	29.6400 \$	29.64 \$	29.64 \$
Sarclage (3 km/h) ²	1	27.1700 \$	27.17 \$	27.17 \$
Total pour serre et champ			5 896.55 \$	1 810.36 \$
3.1- Récolte pour entreposage au sec	Qté/ha	Prix unitaire (\$)	Total	
Fauchage, andainage et confection de balles rondes de 275 kg (balles) ²	4.04	12.0000 \$	48.48 \$	48.48 \$
Entreposage (balles) ²	4.04	4.3450 \$	17.55 \$	17.55 \$
Total			66.03 \$	66.03 \$
3.1- Récolte pour congélation	Qté/ha	Prix unitaire (\$)	Total	
Fauchage et ramassage (75 % hum) ²	1	180.3869 \$	180.39 \$	180.39 \$
Congélation (9 mois) (t) ²	5	912.8480 \$	4 564.24 \$	4 564.24 \$
Total			4 744.63 \$	4 744.63 \$
Total avec entreposage au sec			5 962.58 \$	1 876.39 \$
Total avec congélation			10 641.18 \$	6 554.99 \$

¹ http://www.agrireseau.qc.ca/agriculturebiologique/documents/MARAI_Chapitre_5Structure_serres.pdf

² Prix basés sur : Molenhuis, J. 2010. Guide des travaux agricoles à forfait et de la location à court terme de matériel. Omagra. AGDEX 825

CONCLUSION

En résumé, les espèces qui ont été sélectionnées dans le cadre du projet ont toutes montré un effet allélopathique envers les mauvaises herbes. L'effet anti-germinatif des huiles essentielles testées sur les semences de mauvaises herbes a été mis de l'avant. Plus la concentration appliquée est élevée, plus la germination est diminuée. Globalement, c'est vers 800 ppm que l'effet anti-germinatif est significatif. En passant du laboratoire au champ, il a été établi que les paillis des espèces testées apportent une quantité suffisante d'huile essentielle pour exprimer un potentiel allélopathique réel de répression de la croissance et de la germination des mauvaises herbes. C'est sur le rang, à proximité du paillis, que la capacité de répression allélopathique fut le plus visible. Sous forme congelée, l'expression de l'allélopathie est encore supérieure. Cependant, l'effet physique joue un rôle important au niveau du contrôle des mauvaises herbes, ce qui a limité notre capacité à trouver une efficacité accrue des paillis allélopathiques comparés au témoin de paillis à l'avoine.

L'allélopathie a été néfaste pour la culture de la carotte dans le cadre de notre projet. Cependant, à la lumière des résultats obtenus en culture de betterave, il est possible de penser pouvoir utiliser l'allélopathie dans certaines circonstances précises. Il devient important de trouver l'équilibre entre un contrôle adéquat des mauvaises herbes et la croissance de la culture en place qui ne serait pas mise en péril par l'allélopathie. Ce fut le cas à La Malbaie. Les mêmes conclusions peuvent être tirées pour l'efficacité du muka, c'est-à-dire une capacité allélopathique établie au niveau de la réduction des populations des mauvaises herbes, mais aussi envers la culture témoin.

L'utilisation de cultures intercalaires de thym, de menthe et d'origan ne semble pas être une technique envisageable dans une optique de gestion des mauvaises herbes. L'effet allélopathique des plantes aromatiques vivantes fut plus important sur la culture que sur les mauvaises herbes. Cependant, il est intéressant de constater que ces fines herbes peuvent être distancées du rang de la culture maraîchère et ainsi agir comme culture secondaire sans nuire au brocoli. L'évaluation de la faune arthropode dans le cadre de ce compagnonnage serait une continuité intéressante de ce volet.

L'information tirée est très intéressante et cruciale pour le développement de futures techniques utilisables pour l'industrie. Utilisée avec discernement, l'allélopathie peut devenir une composante importante de la gestion des mauvaises herbes en culture maraîchère biologique.

LES BIENS LIVRÉS

Rapport d'étape

Lefebvre, M. et M. Leblanc. 2011. Utilisation de cultures à huiles essentielles comme désherbant en productions végétales biologiques. Rapport d'étape du projet no. 08-BIO-25 réalisé dans le cadre du programme de soutien au développement de l'agriculture biologique; Volet 1 – Appui à l'adaptation technologique et au transfert du savoir-faire pour les exploitations biologiques ou en transition, MAPAQ. IRDA, 13 p.

Démonstrations et visites

Leblanc, M., J. Boisclair, P.-A. Gilbert et G. Moreau. 2010. Projets INNOVBIO à la Plateforme en agriculture biologique. Démonstration et visite des parcelles pour les conseillers biologiques du MAPAQ. St-Bruno-de-Montarville, juillet.

Leblanc, M., J. Boisclair, E. Lalonde, M. Lefebvre, E. Lefrançois, G. Moreau, G. Richard et D. La France. 2011. Projets réalisés à la Plateforme d'innovations en agriculture biologique. Journées terrain en agriculture biologique pour le développement des compétences des conseillers agricoles. Saint-Bruno-de-Montarville, 12 juillet.

Leblanc, M., J. Boisclair, M. Lefebvre, E. Lefrançois, G. Richard et G. Moreau. 2011. Projets réalisés à la Plateforme d'innovation en agriculture biologique. Visite des parcelles et démonstration de sarcleurs. Journée des employés de l'IRDA. Saint-Bruno-de-Montarville, 8 septembre.

Conférences vulgarisées (incluant les cahiers de conférences)

Lefebvre M. et M. Leblanc. 2011 Plantes à huiles essentielles pour contrôler les mauvaises herbes en production maraîchère biologique. St-Rémi. 8 décembre.

Lefebvre M. et M. Leblanc. 2011 Plantes à huiles essentielles pour contrôler les mauvaises herbes en production maraîchère biologique. (Cahier de conférence) St-Rémi. 8 décembre.

Références

Abbott, W.S. (1925). A method of computing the effectiveness of an insecticide. *J. Econ. Entomol.*; 18:265-267.

Chou, C.H. 1999. Role of allelopathy in plant biodiversity and sustainable agriculture. *Critical Rev. in Plant Sciences* 18:609-636.

Dudai N., Lewinsohn E., Larkov O., Katzir I., Ravid U. and Putievsky E. (1999) Dynamics of yield components and essential oil production in a commercial hybrid sage (*Salvia officinalis* x *fruticosa* var. "Newe Ya'ar No 4"). *J. Agr. Food Chem.* 47 (10): 4341-4345.

Bohren Ch. & Delabays N., 2005. 17. L'allélopathie: du laboratoire aux champs. Fachtagung zur Unkrautregulierung, Tagungsunterlagen, *Agroscope FAL Reckenholz*.

REMERCIEMENTS

L'équipe de réalisation du projet tient à remercier le programme de soutien au développement de l'agriculture biologique; Volet 1 – Appui à l'adaptation technologique et au transfert du savoir-faire pour les exploitations biologiques ou en transition pour son soutien financier, sans lequel le projet n'aurait pu se concrétiser. Merci infiniment à M. Germain Moreau, Elisabeth Lefrançois, Marc Bérubé de la Ferme des Monts, François Demers d'Écolomax, la compagnie Aliksir et aux ouvriers agricoles de l'IRDA pour leur soutien technique et leur participation.

ANNEXE(S)

Annexe 1 : Tableaux des valeurs moyennes de chaque traitements.

Annexe 2 : Liste des transformations utilisées pour l'ajustement des données aux modèles statistiques.

Annexe 3 : Graphiques d'interactions significatives présentées.

ANNEXE 1

Tableaux des valeurs moyennes de chaque traitements.

Annexe 1.1. Valeurs moyennes de tous les traitements de l'impact de six espèces selon différentes doses et état du paillis sur les populations de mauvaises herbes sur le rang en date du 19 au 21 juillet 2011, dans la zone du paillis laissée enherbée toute la saison, à St-Bruno de Montarville

Espèce	Dose	État du paillis	Densité totale (nb m ⁻²)	Biomasse totale (g m ⁻²)	Densité dicot. (nb m ⁻²)	Biomasse dicot. (g m ⁻²)	Densité mono. (nb m ⁻²)	Biomasse mono. (g m ⁻²)
Avoine	0.5	Cong	680	1700,3	440	899,6	240	800,8
	1	Cong	1840	3556,7	360	1497,0	1480	2059,8
	2	Cong	920	2607,6	600	4582,0	320	946,1
	4	Cong	880	6840,5	320	2610,1	560	4230,4
Avoine	0,5	Sec	720	4132,6	600	3025,6	120	1107,0
	1	Sec	920	4198,5	240	2888,6	680	1309,9
	2	Sec	360	1803,6	120	1044,9	240	758,8
	4	Sec	1320	4132,8	160	237,8	1160	3895,0
Menthe	0,5	Cong	1120	1500,3	1000	861,9	120	638,4
	1	Cong	1280	2754,9	440	1144,8	840	1610,0
	2	Cong	160	525,7	0	0,0	160	525,7
	4	Cong	600	767,5	200	431,0	400	336,5
Menthe	0,5	Sec	1200	5724,7	720	4929,8	480	795,0
	1	Sec	1120	2180,4	680	1585,8	440	594,6
	2	Sec	520	68,8	320	23,1	200	45,7
	4	Sec	320	613,6	200	84,2	120	529,4
Monarde d.	0,5	Cong	1160	4274,6	960	4032,8	200	241,8
	1	Cong	800	1354,0	600	884,4	200	469,6
	2	Cong	1200	3511,3	360	1325,4	840	6122,4
	4	Cong	1000	3345,7	360	1249,7	640	2096,0
Monarde d.	0,5	Sec	1200	5151,7	640	2358,5	560	2793,2
	1	Sec	920	3345,6	520	2608,3	400	737,3
	2	Sec	400	1445,2	280	1133,9	120	311,2
	4	Sec	240	160,0	160	139,1	80	20,9
Monarde f.	0,5	Cong	720	1495,9	320	627,9	400	868,0
	1	Cong	1080	3645,4	880	3402,2	200	243,2
	2	Cong	560	2718,2	240	688,5	320	2029,7
	4	Cong	160	523,8	40	219,7	120	304,1
Monarde f.	0,5	Sec	1480	2535,5	800	1833,7	120	701,8
	1	Sec	880	1804,4	400	1177,6	480	626,8
	2	Sec	600	1829,3	360	581,1	240	1248,2
	4	Sec	40	86,1	40	86,1	0	0,0
Origan	0,5	Cong	880	3005,2	560	1798,1	320	1207,0
	1	Cong	1040	2163,9	680	1272,2	360	891,7
	2	Cong	520	2115,3	120	114,1	400	2001,2
	4	Cong	320	1763,8	200	1595,0	120	168,8
Origan	0,5	Sec	880	1809,2	680	950,4	200	858,8
	1	Sec	1160	4216,6	520	1157,5	640	3059,1
	2	Sec	520	560,6	320	175,7	200	385,0
	4	Sec	160	566,0	80	546,6	80	19,4

Thym	0,5	Cong	1080	1920,4	480	1471,4	600	449,0
	1	Cong	960	5863,0	440	4670,4	520	1192,6
	2	Cong	1480	2074,4	880	825,5	600	1248,8
	4	Cong	800	2982,4	280	1601,2	520	1381,2
Thym	0,5	Sec	1280	670,1	840	3540,8	440	163,2
	1	Sec	1240	4409,4	800	3421,0	440	988,4
	2	Sec	760	2870,8	400	486,8	360	2384,0
	4	Sec	1600	4046,9	267	2920,6	440	1126,3
TDM			80	539,6	80	539,6	0	0,0
TE			760	1524,4	600	1028,7	160	495,7

Annexe 1.2. Valeurs moyennes de tous les traitements de l'impact de six espèces selon différentes doses et états du paillis sur les populations de mauvaises herbes entre le rang en date du 19 au 21 juillet 2011, dans la zone du paillis laissée enherbée toute la saison, à St-Bruno de Montarville.

Espèce	Dose	État du paillis	Densité totale (nb m ⁻²)	Biomasse totale (g m ⁻²)	Densité dicot. (nb m ⁻²)	Biomasse dicot. (g m ⁻²)	Densité mono. (nb m ⁻²)	Biomasse mono. (g m ⁻²)
Avoine	0.5	Cong	510	686,2	300	376,6	210	686,2
	1	Cong	370	952,7	100	586,2	270	952,7
	2	Cong	170	172,7	80	119,9	90	172,7
	4	Cong	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Avoine	0,5	Sec	380	1252,2	200	230,8	180	1252,2
	1	Sec	380	504,8	140	185,5	240	504,8
	2	Sec	170	896,1	100	115,7	70	896,1
	4	Sec	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Menthe	0,5	Cong	500	549,5	430	337,4	70	549,5
	1	Cong	410	527,4	250	259,7	160	527,4
	2	Cong	50	93,6	20	1,7	30	93,6
	4	Cong	10	2,7	10	2,7	0	2,7
Menthe	0,5	Sec	550	894,2	310	504,2	240	894,2
	1	Sec	460	716,2	260	399,7	200	716,2
	2	Sec	270	447,9	130	69,2	140	447,9
	4	Sec	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Monarde d.	0,5	Cong	610	237,0	500	180,8	110	237,0
	1	Cong	190	635,1	120	449,1	70	635,1
	2	Cong	70	145,9	40	86,4	30	145,9
	4	Cong	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Monarde d.	0,5	Sec	420	655,5	290	437,4	130	655,5
	1	Sec	260	253,1	120	102,7	140	253,1
	2	Sec	120	168,5	100	168,3	20	168,5
	4	Sec	70	64,1	50	26,7	20	64,1
Monarde f.	0,5	Cong	330	612,8	100	255,2	230	612,8
	1	Cong	630	333,7	490	241,0	140	333,7
	2	Cong	30	86,4	30	86,4	0	86,4
	4	Cong	50	80,1	40	37,5	10	80,1
Monarde f.	0,5	Sec	340	1307,7	300	1233,5	40	1307,7
	1	Sec	490	1163,3	350	962,8	140	1163,3

	2	Sec	150	114,8	140	114,8	10	114,8
	4	Sec	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Origan	0,5	Cong	530	636,7	260	278,9	270	636,7
	1	Cong	410	627,5	340	495,2	70	627,5
	2	Cong	40	67,3	10	0,7	30	67,3
	4	Cong	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Origan	0,5	Sec	250	443,2	210	414,3	40	443,2
	1	Sec	260	350,3	150	181,0	110	350,3
	2	Sec	480	884,0	300	805,7	180	884,0
	4	Sec	80	164,8	50	130,1	30	164,8
Thym	0,5	Cong	410	176,4	210	73,2	160	176,4
	1	Cong	410	562,1	230	389,8	180	562,1
	2	Cong	480	186,5	330	120,8	150	186,5
	4	Cong	110	220,3	80	127,8	30	220,3
Thym	0,5	Sec	540	589,0	190	310,2	350	589,0
	1	Sec	440	642,8	200	456,4	240	642,8
	2	Sec	300	439,7	210	250,5	90	439,7
	4	Sec	70	344,8	50	326,2	20	344,8
TDM			0	0,0	0	0,0	0	0,0
TE			570	621,8	490	697,8	80	621,8

Annexe 1.3. Valeurs moyennes de tous les traitements de la répression des mauvaises herbes due à l'effet allélopathique des différentes espèces utilisées comme paillis, selon la doses d'application et l'état du paillis sur le rang et dans le paillis, St-Bruno-de-Montarville, 2011.

Espèce	Dose	État du paillis	Dans le paillis		Sans paillis- sur le rang	
			Densité totale (nb m-2)	Biomasse totale (g m-2)	Densité totale (nb m-2)	Biomasse totale (g m-2)
Avoine	0,5	Cong	0	0,00	0	0,00
Menthe	0,5	Cong	10	136,62	-440	200,04
Monarde d.	0,5	Cong	-100	449,12	-480	-2574,28
Monarde f.	0,5	Cong	180	73,33	-40	204,44
Origan	0,5	Cong	-20	49,49	-200	-1304,84
Thym	0,5	Cong	100	509,81	-400	-220,08
Avoine	1	Cong	0	0,00	0	0,00
Menthe	1	Cong	-40	425,32	560	801,84
Monarde d.	1	Cong	180	317,61	1040	2202,72
Monarde f.	1	Cong	-260	619,03	760	-88,64
Origan	1	Cong	-40	325,25	800	1392,80
Thym	1	Cong	-40	390,63	880	-2306,32
Avoine	2	Cong	0	0,00	0	0,00
Menthe	2	Cong	120	79,11	760	5002,36
Monarde d.	2	Cong	100	26,82	-280	1392,5867
Monarde f.	2	Cong	140	86,28	360	2809,84
Origan	2	Cong	130	105,37	400	3412,80
Thym	2	Cong	-310	-13,82	-560	619,15
Avoine	4	Cong	0	0,00	0	0,00

Menthe	4	Cong	-10	-2,72	280	6073,00
Monarde d.	4	Cong	0	0	-120	3494,84
Monarde f.	4	Cong	-50	-80,08	720	6316,72
Origan	4	Cong	0	0,00	560	5076,68
Thym	4	Cong	-110	-220,34	80	3858,12
Avoine	0,5	Sec	0	0,00	0	0,00
Menthe	0,5	Sec	-170	358,04	-480	-1592,12
Monarde d.	0,5	Sec	-40	596,75	-480	-1019,12
Monarde f.	0,5	Sec	40	835,41	-760	1597,08
Origan	0,5	Sec	130	809,09	-160	2323,40
Thym	0,5	Sec	-160	663,21	-560	428,64
Avoine	1	Sec	0	0,00	0	0,00
Menthe	1	Sec	-80	-211,37	-200	2018,16
Monarde d.	1	Sec	120	251,77	0	852,88
Monarde f.	1	Sec	-110	-658,42	40	2394,16
Origan	1	Sec	120	154,57	-240	-18,04
Thym	1	Sec	-60	-137,99	-320	-210,84
Avoine	2	Sec	0	0,00	0	0,00
Menthe	2	Sec	-100	448,16	-160	1734,84
Monarde d.	2	Sec	50	727,63	-40	358,48
Monarde f.	2	Sec	20	781,25	-240	-25,68
Origan	2	Sec	-310	12,1	-160	1243
Thym	2	Sec	-130	456,42	-400	-1067,20
Avoine	4	Sec	0	0,00	0	0,00
Menthe	4	Sec	0	0,00	267	3519,24
Monarde d.	4	Sec	-70	-64,12	427	3972,84
Monarde f.	4	Sec	0	0,00	480	4046,76
Origan	4	Sec	-80	-164,77	320	3566,84
Thym	4	Sec	-70	-344,83	800	85,96

Annexe 1.4. Valeurs moyennes de tous les traitements du rendement de carotte selon les différents espèces de paillis, selon l'état du paillis, de la dose et de la zone de récoltes, St-Bruno-de-Montarville, 2010.

Dose	État	Espèce	Désherb	Rendement total kg ha ⁻¹	Rendement vendable kg ha ⁻¹
0,5	Congelé	Menthe	Desh	14141,8	6538,5
1	Congelé	Menthe	Desh	18106,6	12754,9
2	Congelé	Menthe	Desh	30156,6	26037,7
4	Congelé	Menthe	Desh	38730,3	33923,8
0,5	sec	Menthe	Desh	9352,5	4547,5
1	sec	Menthe	Desh	12754,1	9091,8
2	sec	Menthe	Desh	12264,8	6809,0
4	sec	Menthe	Desh	18274,6	14536,1
0,5	Congelé	Monarde	Desh	16553,3	7969,7
1	Congelé	Monarde	Desh	17984,4	12499,2
2	Congelé	Monarde	Desh	21010,7	16068,0
4	Congelé	Monarde	Desh	23432,8	21641,8
0,5	sec	Monarde	Desh	9691,8	3942,6
1	sec	Monarde	Desh	14194,3	8520,5

2	sec	Monarde	Desh	13582,8	7960,7
4	sec	Monarde	Desh	18574,6	11541,8
0,5	Congelé	Menthe	Enh	8014,8	2222,1
1	Congelé	Menthe	Enh	7773,0	3897,5
2	Congelé	Menthe	Enh	19436,1	14296,7
4	Congelé	Menthe	Enh	31020,5	25132,0
0,5	sec	Menthe	Enh	6007,4	986,1
1	sec	Menthe	Enh	3624,6	620,5
2	sec	Menthe	Enh	7515,6	2263,9
4	sec	Menthe	Enh	13244,3	8053,3
0,5	Congelé	Monarde	Enh	5966,4	629,5
1	Congelé	Monarde	Enh	10213,1	5887,7
2	Congelé	Monarde	Enh	11530,3	4463,1
4	Congelé	Monarde	Enh	16405,7	14732,0
0,5	sec	Monarde	Enh	4972,1	1285,2
1	sec	Monarde	Enh	7814,8	2134,4
2	sec	Monarde	Enh	7433,6	2091,8
4	sec	Monarde	Enh	8478,7	2040,2
TDM	TDM	TDM	Desh	37529,9	30768,4
TE	TE	TE	Enh	2082,8	88,5

Annexe 1.5. Valeurs moyennes de tous les traitements du rendement de carotte selon les différentes espèces de paillis, selon l'état du paillis et de la dose, St-Bruno-de-Montarville, 2011.

Dose	État	Espèce	Rendement vendable kg ha ⁻¹	Rendement total kg ha ⁻¹
0,5	Congelé	Avoine	21442,6	34082,0
1	Congelé	Avoine	16188,5	22983,6
2	Congelé	Avoine	13377,0	21778,7
4	Congelé	Avoine	10385,2	14377,0
0,5	Sec	Avoine	17688,5	34147,5
1	Sec	Avoine	25344,3	36163,9
2	Sec	Avoine	22041,0	38582,0
4	Sec	Avoine	18295,1	27459,0
0,5	Congelé	Menthe	19106,6	28319,7
1	Congelé	Menthe	32959,0	43942,6
2	Congelé	Menthe	25590,2	29409,8
4	Congelé	Menthe	14163,9	21319,7
0,5	Sec	Menthe	28614,8	38541,0
1	Sec	Menthe	27672,1	40147,5
2	Sec	Menthe	18524,6	29245,9
4	Sec	Menthe	8467,2	12237,7
0,5	Congelé	Monarde d.	23254,1	35844,3
1	Congelé	Monarde d.	26631,1	41278,7
2	Congelé	Monarde d.	25926,2	36557,4
4	Congelé	Monarde d.	16352,5	23385,2
0,5	Sec	Monarde d.	24868,9	39180,3
1	Sec	Monarde d.	27516,4	46008,2

2	Sec	Monarde d.	17000,0	20795,1
4	Sec	Monarde d.	5377,0	11852,5
0,5	Congelé	Monarde f.	24409,8	41934,4
1	Congelé	Monarde f.	30532,8	40762,3
2	Congelé	Monarde f.	27180,3	37377,0
4	Congelé	Monarde f.	17598,4	25508,2
0,5	Sec	Monarde f.	23450,8	35295,1
1	Sec	Monarde f.	23188,5	36172,1
2	Sec	Monarde f.	20926,2	34729,5
4	Sec	Monarde f.	10098,4	11623,0
0,5	Congelé	Origan	19844,3	28983,6
1	Congelé	Origan	26286,9	36991,8
2	Congelé	Origan	18983,6	28860,7
4	Congelé	Origan	10000,0	19229,5
0,5	Sec	Origan	32811,5	45204,9
1	Sec	Origan	25983,6	33352,5
2	Sec	Origan	17737,7	26557,4
4	Sec	Origan	11508,2	15967,2
0,5	Congelé	Thym	30696,7	40614,8
1	Congelé	Thym	25532,8	34459,0
2	Congelé	Thym	14303,3	29655,7
4	Congelé	Thym	18737,7	28204,9
0,5	Sec	Thym	25647,5	39696,7
1	Sec	Thym	23196,7	39868,9
2	Sec	Thym	25393,4	32737,7
4	Sec	Thym	22500,0	27442,6
TDM	TDM	TDM	31614,8	44172,1
TE	TE	TE	1180,3	4016,4

ANNEXE 2

Liste des transformations utilisées pour l'ajustement des données aux modèles statistiques.

Annexe 2. Liste des transformations utilisées pour l'ajustement des données aux modèles statistiques.

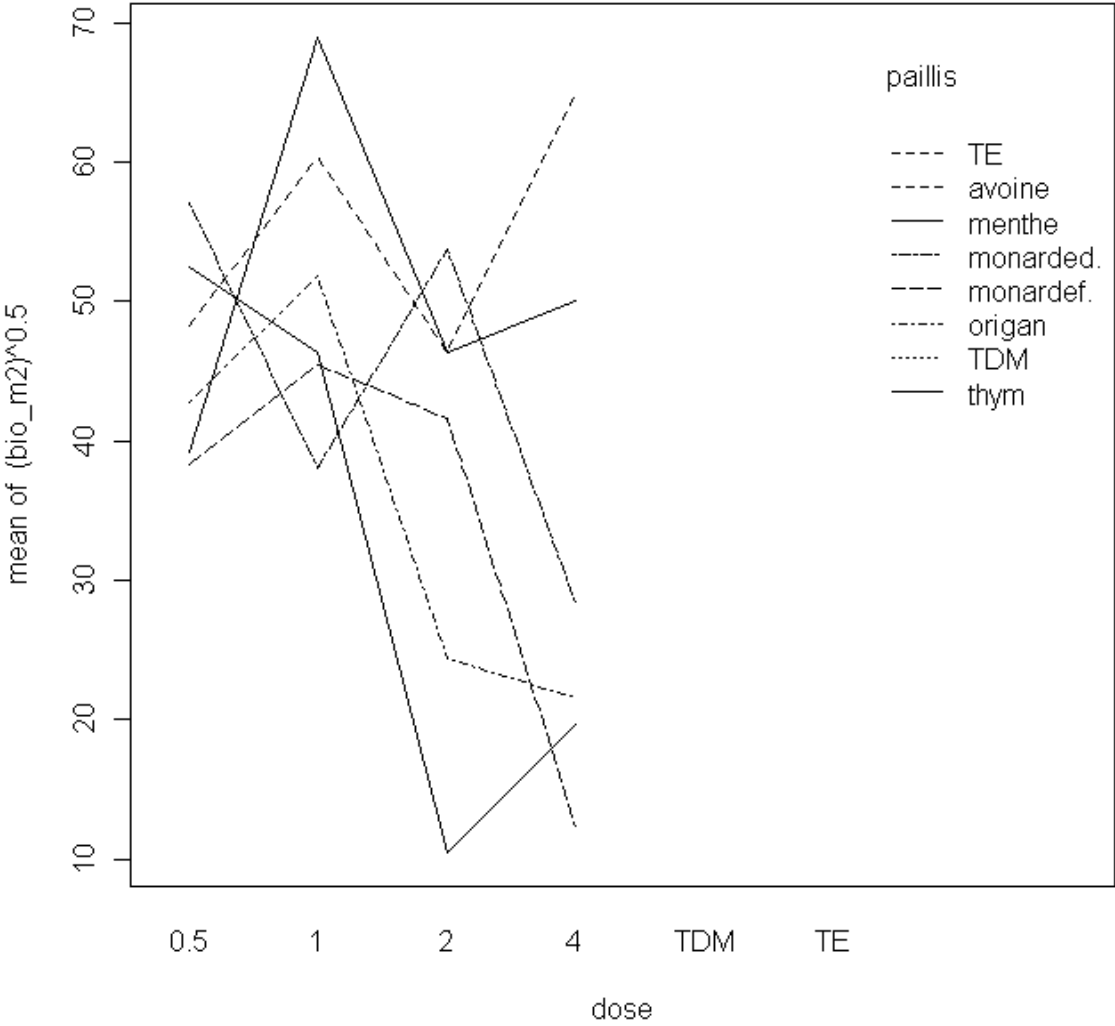
Volet	Analyse	Donné	Validité du modèle	transformation
1	2010 Mauvaises herbes 1 ^{er} évaluation	Densité dicot	Oui	Non
		Biomasse dicot	Non	
		Densité mono	Oui	$\ln(y+0,01)$
		Biomasse mono	Oui	$\ln(y+0,01)$
		Densité total	Oui	$\ln(y+0,01)$
		Biomasse total	Oui	$\ln(y+0,01)$
	2010 Mauvaises herbes 2 ^{er} évaluation	Densité dicot	Oui	Non
		Biomasse dicot	Oui	Non
		Densité mono	Oui	Non
		Biomasse mono	Oui	$\ln(y+0,01)$
		Densité total	Oui	$\ln(y+0,01)$
		Biomasse total	Oui	$\ln(y+0,01)$
	2011 Mauvaises herbes sur le rang	Densité mono	Oui	$(y)^{1/2}$
		Biomasse mono	Non	
		Densité dicot	Oui	$(y)^{1/2}$
		Biomasse dicot	Oui	$(y)^{1/2}$
		Densité total	Oui	$(y+0,01)^{1/2}$
		Biomasse total	Oui	$(y)^{1/2}$
	2011 Mauvaises herbes entre le rang	Densité mono	Oui	$(y)^{1/2}$
		Biomasse mono	Oui	$\ln(y+0,01)$
		Densité dicot	Oui	$(y)^{1/2}$
		Biomasse dicot	Oui	$\ln(y+0,01)$
		Densité total	Oui	$(y)^{1/2}$
		Biomasse total	Oui	$(y)^{1/2}$
	2011 Effet allélopathique entre-rang	Densité total	Non	
		Biomasse total	Non	
	2011 Effet allélopathique sur rang	Densité total	Oui	Non
Biomasse total		Oui	Non	
2010 Rendement carotte	Rendement Total	Oui	$\ln(y+0.01)$	
	Rendement vendable	Oui	$(y)^{1/2}$	
2011 Rendement carotte	Rendement Total	Oui	Non	
2011 Rendement carotte	Rendement vendable	Oui	Non	
Protocole La Malbaie	toutes	Oui	Non	
2	2010 Mauvaises herbes sur le rang	Densité total	Oui	$\ln(y+0,01)$
		Biomasse total	Oui	$\ln(y+0,01)$
	2010 Mauvaises herbes entre le rang	Densité total	Oui	$\ln(y+0,01)$
		Biomasse total	Oui	$\ln(y+0,01)$
	2010 Rendement brocoli	Diamètre total	Non	
		Rendement total	Oui	Non
	2011 Rendement brocoli	Rendement total	Oui	Non
		Rendement	Oui	Non

		vendable		
		Diamètre vendable	Oui	Non
3	2010 Mauvaises herbes sur le rang	Densité total	Oui	Non
		Biomasse total	Oui	$\ln(y+0,01)$
	2010 Mauvaises herbes entre le rang	Densité total	Oui	Non
		Biomasse total	Oui	$(y)^{1/2}$
4	Pourcentage global de germination	Germination total	Oui	$\text{Arcsin}(y)$
	Analyse de la germination sous Mensp	Germination	Oui	$\ln(y+0,01)$
	Analyse de la germination sous Monfi	Germination	Oui	$\text{Arcsin}(y)$
	Analyse de la germination sous Orika	Germination	Oui	Non
	Analyse de la germination sous Thyvu	Germination	Oui	$\text{Arcsin}(y)$
	Analyse de la germination sous Mondri	Germination	Oui	$\text{Arcsin}(y)$
	Analyse de la germination sous Menpe	Germination	Oui	$\text{Arcsin}(y)$

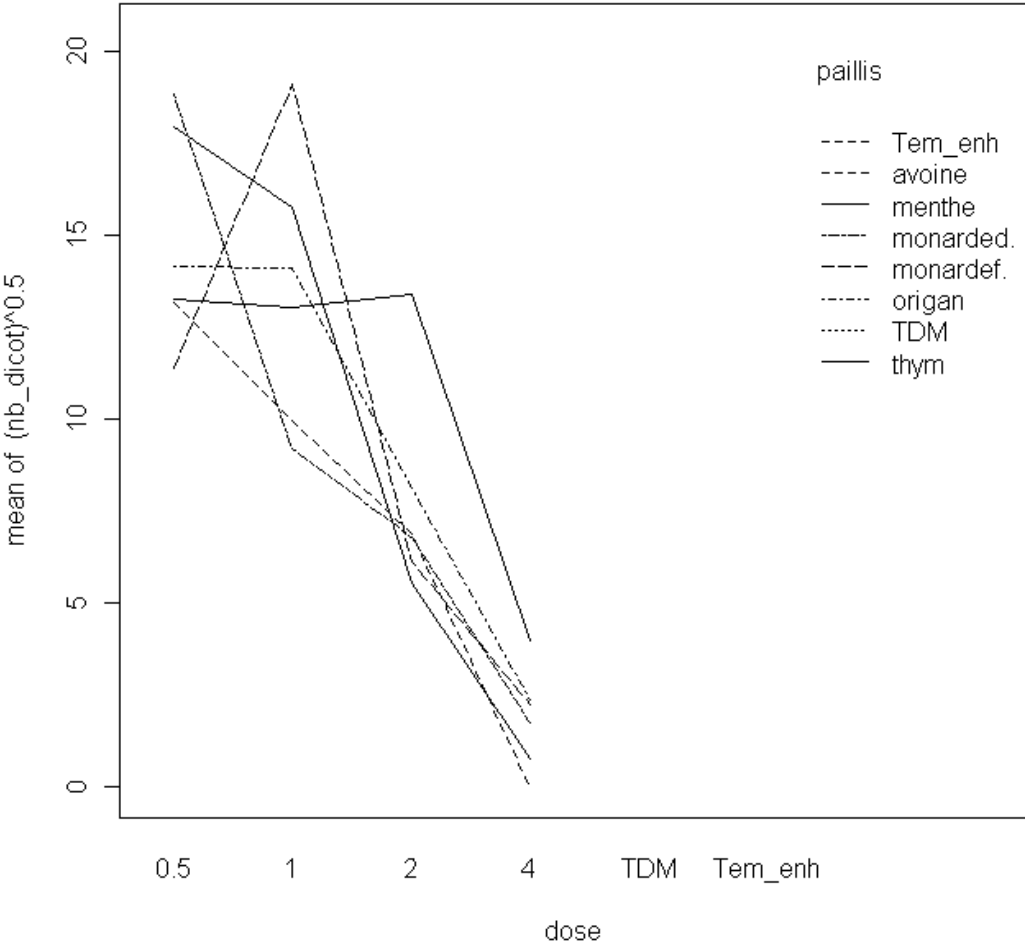
ANNEXE 3

Graphiques des interactions significatives présentées.

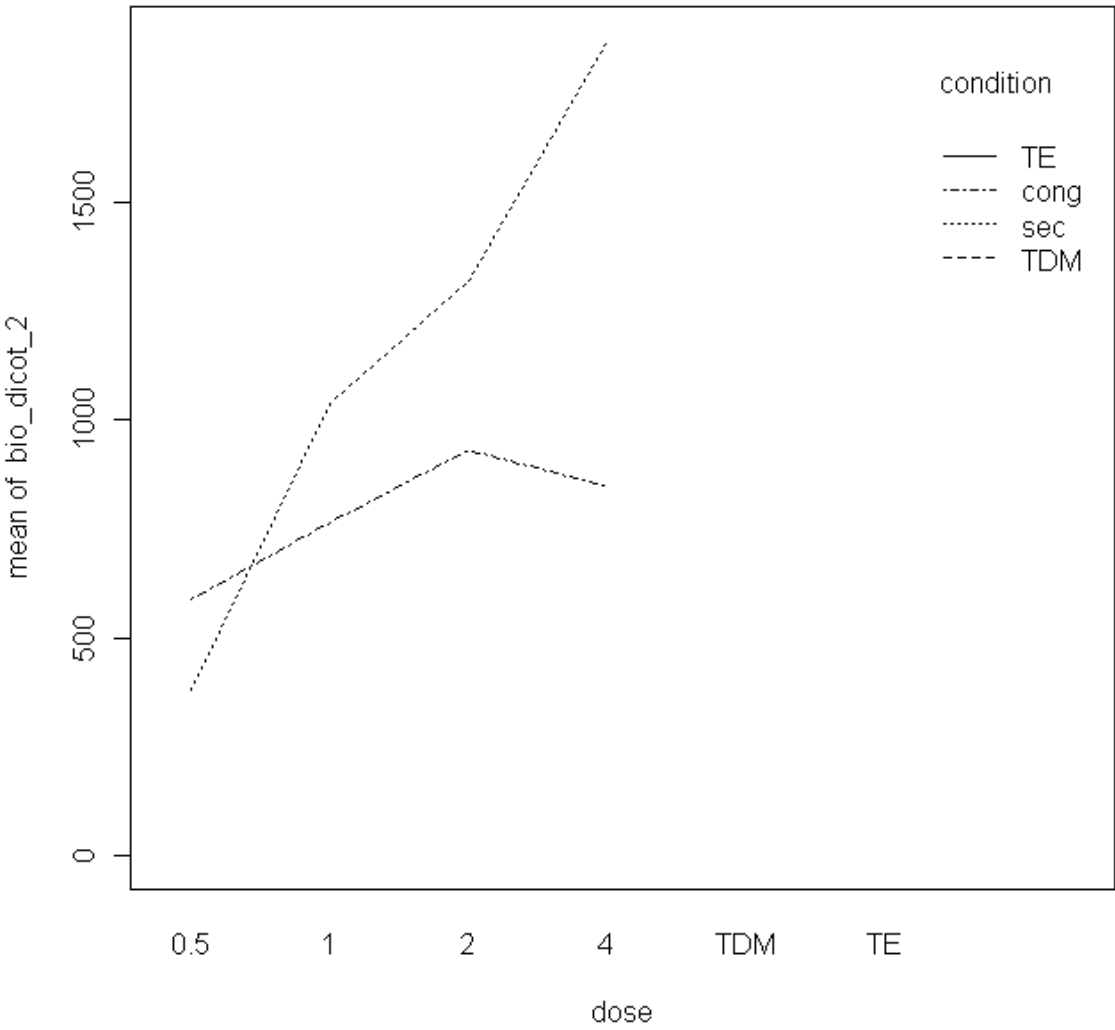
Annexe 3.1. Graphique de l'interaction de la dose et de l'espèce utilisée dans le paillis sur la biomasse totale de mauvaises herbes retrouvées sur la zone du rang, en 2011.



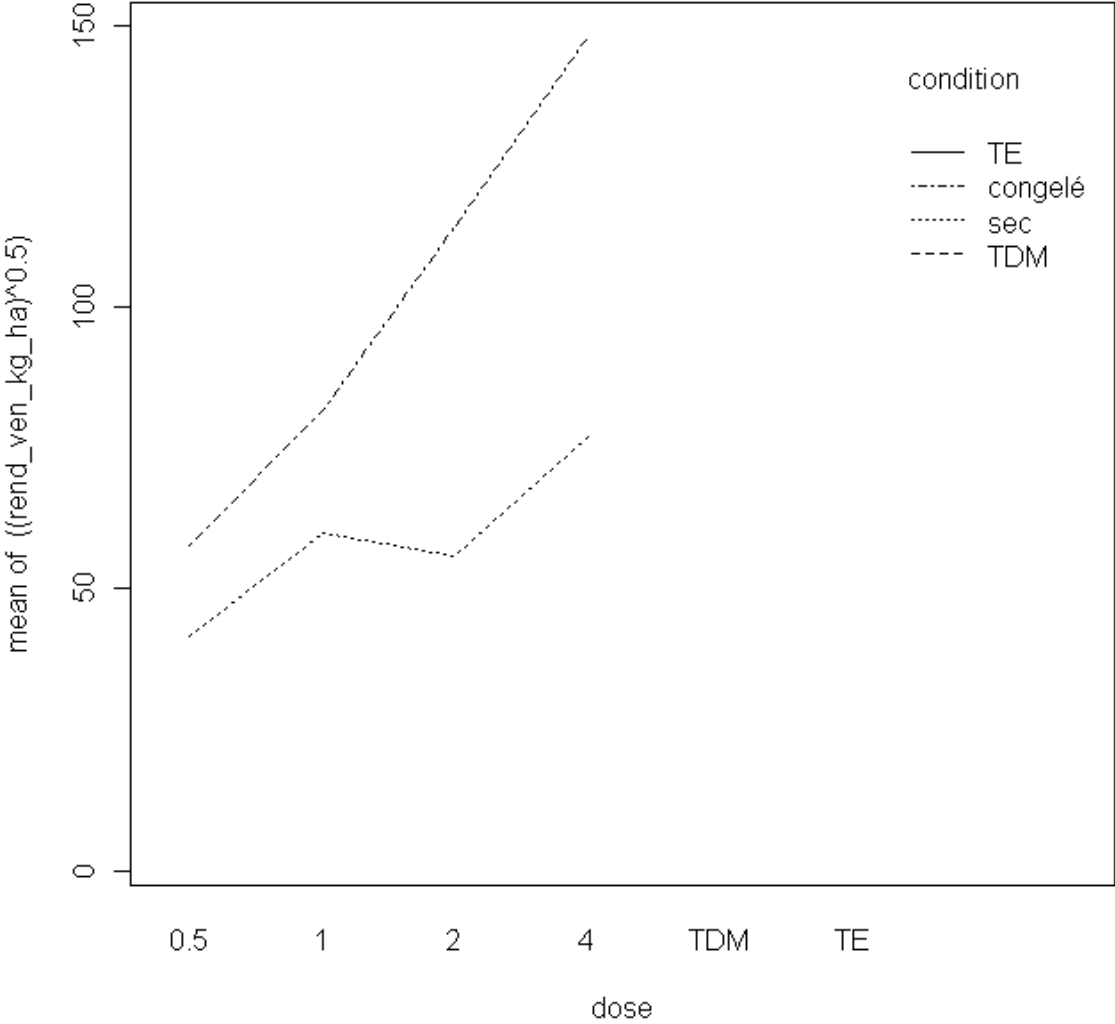
Annexe 3,2. Graphique de l'interaction de la dose et de l'espèce utilisée dans le paillis sur la densité des dicotylédones de mauvaises herbes retrouvées sur la zone de l'entre-rang, en 2011.



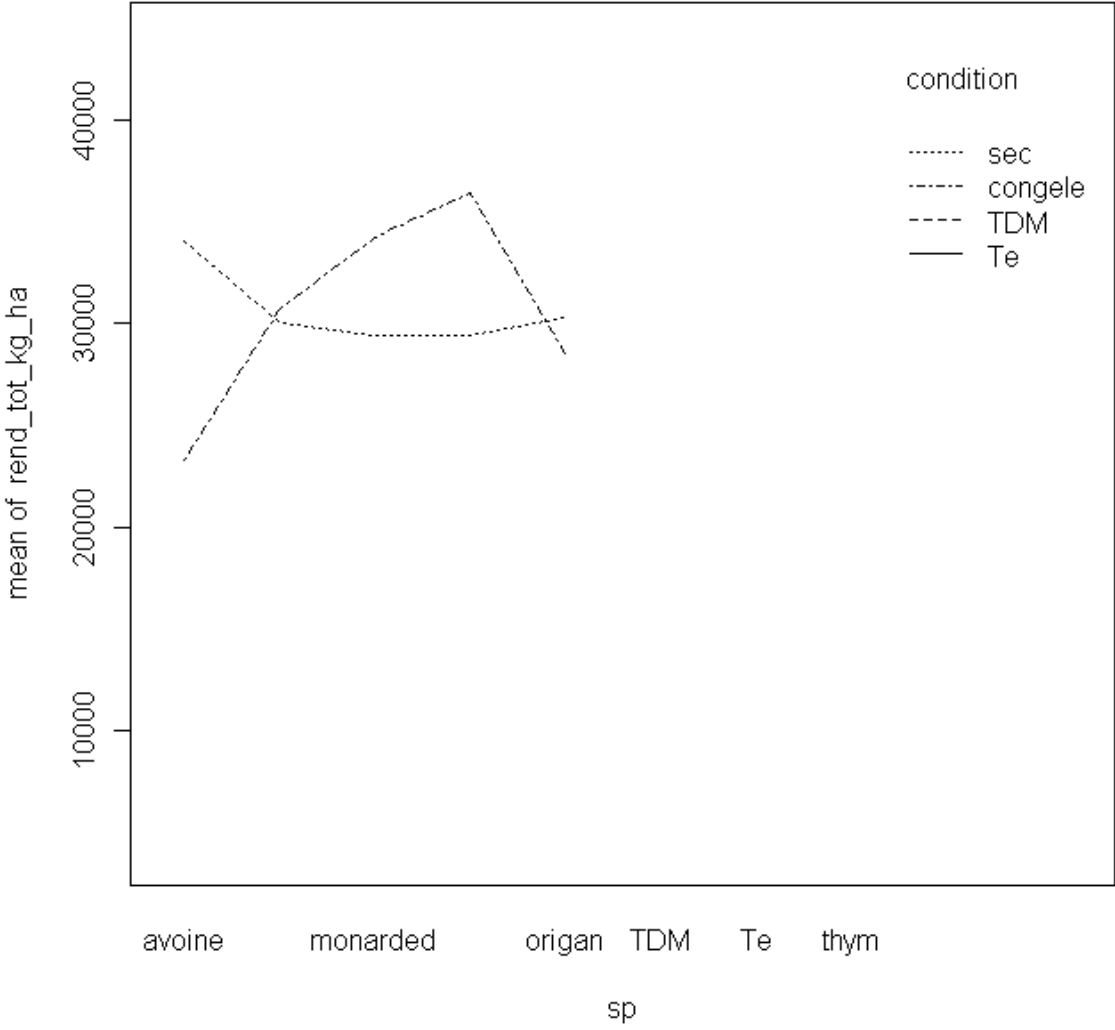
Annexe 3,3. Graphique de l'interaction entre la dose et la condition du paillis lors de la deuxième évaluation des mauvaises herbes en 2010.



Annexe 3,4. Graphique de l'interaction de la dose et de l'état du paillis utilisé sur le rendement vendable de carotte en 2010.



Annexe 3,5. Graphique de l'interaction de l'espèce utilisée et l'état du paillis sur le rendement total de carotte en 2011.



Annexe 3,6. Graphique de l'interaction entre la dose et l'espèce dont l'huile est extraite sur la germination ajustée moyenne des 4 mauvaises herbes.

