



INSTITUT DE RECHERCHE
ET DE DÉVELOPPEMENT
EN AGROENVIRONNEMENT
ИИ ДСКОЕИИЛКОВИИЕИИИ
ИИ ДСКОЕИИЛКОВИИЕИИИ

RAPPORT FINAL

LE CHIA : UNE NOUVELLE CULTURE POUR LA PRODUCTION BIOLOGIQUE AU QUÉBEC

Responsable scientifique : JOSÉE BOISCLAIR, agr., M.P.M., IRDA

Auteur: LAURENCE JOCHEMS-TANGUAY, M. Env., IRDA

Co-auteur : L. Belzile, J. Boisclair, T. Boislard, M. Grenier et S. Mougeot

Rapport présenté à : Programme Innov'Action agroalimentaire, Volet 2-Innovation en production agricole, Cultivons l'avenir 2, AAC-MAPAQ.

Date : 15 février 2018

Projet IRDA # : IA 215448

L'IRDA a été constitué en mars 1998 par quatre membres fondateurs, soit le Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation (MAPAQ), l'Union des producteurs agricoles (UPA), le Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC) et le ministère de l'Économie, de l'Innovation et des Exportations (MEIE).

L'Institut de recherche et de développement en agroenvironnement est une corporation de recherche à but non lucratif qui travaille à chaque année sur une centaine de projets de recherche en collaboration avec de nombreux partenaires du milieu agricole et du domaine de la recherche.

Notre mission

L'IRDA a pour mission de réaliser des activités de recherche, de développement et de transfert en agroenvironnement visant à favoriser l'innovation en agriculture, dans une perspective de développement durable.

Notre vision

En 2016, l'IRDA est reconnu à l'échelle canadienne comme un chef de file en recherche, développement et transfert en agroenvironnement. L'IRDA se démarque par son approche intégrée et par le dynamisme de ses partenariats qui lui permettent d'anticiper les problèmes et de proposer des solutions novatrices répondant aux besoins des agriculteurs et de la société.

Pour en savoir plus

www.irda.qc.ca

PARTENAIRES



Le chia : une nouvelle culture pour la production biologique au Québec

Rapport final

Présenté à :

Programme Innov'Action agroalimentaire, Volet 2-Innovation en production agricole, Cultivons l'avenir 2, AAC-MAPAQ

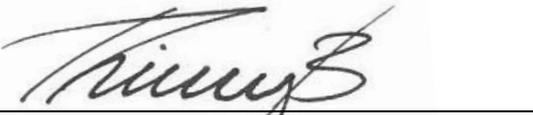
Préparé par :



Laurence Jochems-Tanguay, M. Env., IRDA



Luc Belzile, agr., M. Sc., IRDA



Thierry Boislard, B. Sc., IRDA



Michèle Grenier, IRDA



Sandra Mougeot, Tech., IRDA

LE RAPPORT PEUT ÊTRE CITÉ COMME SUIT :

Jochems-Tanguay, L., L. Belzile, J. Boislard, T. Boislard, M. Grenier et S. Mougeot
2018. Le chia : une nouvelle culture pour la production biologique au Québec. Rapport final. IRDA. 30 pages.
© Institut de Recherche et de Développement en Agroenvironnement inc. (IRDA)

ÉQUIPE DE RÉALISATION DU PROJET

- Responsable scientifique : Josée Boisclair, agr., M.P.M., IRDA
- Chercheur : Luc Belzile, agr., M. Sc., IRDA
- Professionnelle de recherche: Laurence Jochems-Tanguay, M. Env., IRDA
- Professionnel de recherche : Thierry Boislard, B. Sc., IRDA
- Professionnel de recherche : Simon Chaussé, B. Sc., IRDA
- Professionnelle de recherche : Geneviève Richard, agr., ITA (anciennement de l'IRDA)
- Technicienne : Sandra Mougeot, Tech., IRDA

ÉQUIPE DE RÉDACTION DU RAPPORT

- Laurence Jochems-Tanguay, M. Env., IRDA
- Josée Boisclair, agr., M.P.M., IRDA
- Luc Belzile, agr., M. Sc., IRDA
- Thierry Boislard, B. Sc., IRDA
- Michèle Grenier, biostatisticienne, IRDA
- Sandra Mougeot, Tech., IRDA

COLLABORATEURS

- Maryse Leblanc, Ph. D., IRDA
- Jofroi Desperrier, agr., Agrifusion 2000
- Ermin Menkovic, agr., MAPAQ
- Tim Phillips, Ph. D., Université du Kentucky

Les lecteurs qui souhaitent commenter ce rapport peuvent s'adresser à :

Josée Boisclair, agr., M.P.M., IRDA

Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA)

Plateforme d'innovation en agriculture biologique

335, rang des Vingt-Cinq Est

Saint-Bruno-de-Montarville (Québec), CANADA, J3V 0G7

Téléphone : 450-653-7368, poste 331

Courriel : josee.boisclair@irda.gc.ca

REMERCIEMENTS

Ce projet de recherche a été réalisé grâce à une aide financière accordée par le Programme Innov'Action agroalimentaire, volet 2-Innovation en production agricole, un programme issu de l'accord du cadre Cultivons l'avenir 2 conclu entre le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation et Agriculture et Agroalimentaire Canada. Les auteurs remercient Tim Phillips de l'Université du Kentucky pour son soutien au projet et reconnaissent également l'appui technique fourni par le personnel de la ferme expérimentale de la Plateforme d'innovation en agriculture biologique de l'IRDA, dont les techniciens et ouvriers agricoles. Des remerciements sont également adressés à tous les membres du comité de suivi du projet et aux nombreux étudiants d'été et stagiaires qui se sont grandement investis dans la réalisation de ce projet de recherche.

RÉSUMÉ

Depuis quelques années, les aliments fonctionnels attirent l'attention mondialement en raison d'un intérêt grandissant pour une alimentation saine. Les graines de chia sont riches en acides gras oméga-3, composés essentiels à une bonne santé (Mohd Ali *et al.* 2012; Ayerza et Coates 2005). Les graines de chia sont vendues dans la plupart des supermarchés et sont de plus en plus utilisées dans des aliments transformés comme les céréales et les barres de collation. D'origine sud-américaine, les lignées traditionnelles de chia fleurissent sous une courte photopériode (environ 12 heures) et ne tolèrent pas le gel. À notre latitude, la floraison étant donc déclenchée tardivement ne laisse pas suffisamment de temps à la plante pour atteindre sa maturité avant les premiers gels d'automne. Les chercheurs Phillips et Hildebrand (2012) de l'Université du Kentucky ont développé des nouvelles lignées de chia à floraison hâtive qui peuvent fleurir à des photopériodes d'environ 14h. En 2015, des travaux préliminaires dirigés par Josée Boisclair à la Plateforme d'innovation en agriculture biologique (PIAB) de l'Institut de Recherche et de Développement en Agroenvironnement (IRDA) ont suggéré que ces nouvelles lignées développées au Kentucky étaient en mesure de croître dans nos conditions, et même de produire des rendements pouvant être comparables ou même supérieurs au rendement moyen de la production commerciale actuelle. En 2016 et 2017, l'équipe de recherche s'est consacrée à une étude plus approfondie du potentiel de la production du chia biologique au Québec. Cette étude se divisait en deux volets. Le premier visant à identifier les meilleures pratiques culturales (date et taux de semis) pour la culture du chia biologique au Québec et le second à effectuer une analyse technico-économique pour mesurer la rentabilité de la culture du chia biologique au Québec. Les essais en champs consacrés au premier volet ont été réalisés à la Plateforme d'innovation en agriculture biologique (PIAB) de l'IRDA et se sont répétés sur deux ans. Trois dates de semis entre la fin mai et la fin juin et trois taux de semis (2, 4, 6 kg/ha) étaient comparés. La phénologie des plants, la présence de maladies et d'insectes ravageurs, la pression des mauvaises herbes ainsi que la densité, la hauteur et la biomasse des plants à la récolte et les rendements en graines étaient mesurés. Les résultats de ces essais ont permis de démontrer : 1) que cette culture était peu affectée par les maladies et les insectes ravageurs; 2) la saison de croissance s'est avérée suffisamment longue pour permettre le développement de la lignée de chia développée au Kentucky au cours des deux années; 3) ni la date, ni le taux de semis n'ont influencé le rendement en graines matures des parcelles de chia. Le principal défi de la culture a été d'identifier le meilleur moment pour la récolte. Le chia est sensible à l'égrenage sur pied ce qui peut entraîner des pertes considérables de rendement. Lorsque le risque d'égrenage sur pied est réduit, nos essais suggèrent que des rendements très compétitifs comparativement aux autres pays producteurs de chia peuvent être obtenus. En effet, l'analyse technico-économique démontre que la culture du chia biologique présente des perspectives économiques encourageantes. Avec un rendement similaire à celui obtenu lors des essais, un producteur pourrait espérer obtenir une marge sur coûts variables pouvant atteindre plus de 2 400 \$ canadiens/ha. Les marges sur coûts variables du chia peuvent se comparer avantageusement avec les marges de certaines autres grandes cultures biologiques. Bref, le chia semble avoir un bon potentiel agronomique et économique en sol québécois. Par contre, certaines connaissances sur les pratiques culturales devront davantage être approfondies avant de commencer à cultiver le chia au Québec. De plus, des essais à la ferme par un réseau de producteurs de grains biologiques permettraient de confirmer la faisabilité économique et agronomique de cette culture émergente.

TABLE DES MATIÈRES

1	Introduction.....	1
2	Objectifs de l'étude	2
3	Volet 1 : Identifier les meilleures pratiques culturelles pour la production biologique du chia au Québec	3
3.1	Matériel et méthode	3
3.1.1	Durée et site de l'étude.....	3
3.1.2	Traitements	3
3.1.3	Dispositif expérimental.....	4
3.1.4	Opérations culturelles	4
3.1.5	Paramètres mesurés.....	7
3.1.6	Analyses statistiques	8
3.2	Résultats et discussion	8
3.2.1	Phénologie du chia	8
3.2.2	Suivi entomologique et phytopathologique du chia	9
3.2.3	Pression des mauvaises herbes	10
3.2.4	Densité, hauteur et biomasse des plants à la récolte	12
3.2.5	Rendement en graines matures et perte de rendement par égrenage sur pied	15
4	Volet 2 : Effectuer une analyse technico-économique pour mesurer la rentabilité de la culture du chia biologique au Québec.....	19
4.1	Mise en contexte	19
4.2	Méthode	19
4.2.1	Revenus	19
4.2.2	Coûts variables	20
4.3	Résultats	20
4.3.1	Revenus	22
4.3.2	Coûts variables	22
4.3.3	Marge sur coûts variables	23
4.4	Discussion	23
5	Conclusion	25
	Références.....	26
	Annexe A – Résultats des tests de type III des effets Fiches.....	28

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Dates de semis du chia en 2016 et 2017	3
Tableau 2. Dates des opérations culturales pour la saison 2016	5
Tableau 3. Dates des opérations culturales pour la saison 2017	6
Tableau 4. Date et nombre de jours après le semis de l'atteinte des principaux stades phénologiques par 50 % et plus des plants de chia en fonction des dates de semis en 2016 et 2017.	9
Tableau 5. Marges sur coûts variables dans la production de chia biologique en fonction de trois dates de semis.	21
Tableau 6. Marges sur coûts variables de certaines grandes cultures biologiques.	22

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Vue aérienne du dispositif expérimental de 2017.	4
Figure 2. Parcelle principale et parcelles secondaires.....	4
Figure 3. Sarclage mécanique du chia avec les duos parallélogrammes montés sur le tracteur porte-outils Mazzotti.....	6
Figure 4. Récoltes manuelle et mécanique	7
Figure 5. Maturation des épis de chia	9
Figure 6. Pourcentages (moyenne \pm écart-type) de plants porteurs d'altises à tête rouge (<i>Systema frontalis</i>) selon les dates de semis du chia en 2016 et 2017.....	10
Figure 7. Biomasses sèches des mauvaises herbes (g/m^2) (moyenne \pm borne inf; sup, intervalle de confiance 90%), selon les dates et taux de semis en 2016 et 2017.....	11
Figure 8. Nombre de plants à l'hectare (moyenne \pm borne inf; sup, intervalle de confiance 90 %) à la récolte en fonction des dates et taux de semis en 2016.....	12
Figure 9. Nombre de plants à l'hectare (moyenne \pm borne inf; sup, intervalle de confiance 90 %) à la récolte en fonction des dates et taux de semis en 2017.....	13
Figure 10. Biomasses sèches (t/ha) des plants de chia à la récolte (moyenne \pm borne inf; sup, intervalle de confiance 90 %), selon les dates et taux de semis en 2016 et 2017.	14
Figure 11. Hauteur des plants (moyenne \pm borne inf; sup, intervalle de confiance 90 %) à la récolte selon les dates et taux de semis en 2016 et 2017.....	15
Figure 12. Rendement à l'hectare en graines mures (moyenne \pm borne inf; sup, intervalle de confiance 90 %) à la récolte mécanique, selon les dates et taux de semis en 2016 et 2017.....	16

Figure 13. Perte de rendement en graines matures à l'hectare causé par l'égrenage sur pied (moyenne \pm borne inf; sup, intervalle de confiance 90 %), selon les dates et taux de semis en 2016.....	17
Figure 14. Apparence des épis au moment de la récolte en 2016 et 2017.....	17
Figure 15. Rendement en graines matures (kg/ha) (moyenne \pm borne inf; sup, intervalle de confiance 90 %), selon le mode de récolte en 2016 et 2017.....	18

1 INTRODUCTION

Le chia (*Salvia hispanica* L.) est une plante faisant partie de la famille des Lamiacées. Cette plante était originellement cultivée dans les régions montagneuses du Mexique et du Guatemala (Cahill, 2003). La culture du chia a été récemment redécouverte en raison de la grande valeur nutritionnelle de ses graines. En effet, les graines de chia contiennent de 25 à 40 % d'huile dont 60 % est constitué d'oméga 3 et 20 % d'oméga 6, deux acides gras essentiels à une bonne santé (Mohd Ali et al. 2012; Ayerza et Coates 2005). Elles contiennent également de 15 à 25% de protéines, de 26 à 41% d'hydrates de carbone, de 18 à 30% de fibres et une grande quantité d'antioxydants (Ixtaina et al. 2008). Le chia est une plante qui fleurit sous une courte photopériode et qui ne tolère pas le gel. Sa période de croissance dépend de la latitude où il est cultivé. De nos jours, le chia est principalement cultivé dans quatorze pays, dont l'Argentine, la Bolivie, le Paraguay, le Mexique et l'Australie (Sosa et al., 2016). Depuis quelques années, des équipes de recherches développent de nouvelles lignées de chia, moins sensibles à la photopériode, permettant ainsi d'étendre les régions propices à sa culture (Sosa et al. 2016; Hildebrand et al., 2013; Chia de France, 2017). Les chercheurs Phillips et Hildebrand de l'Université du Kentucky ont développé des nouvelles lignées à floraison hâtive qui peuvent fleurir à des photopériodes d'environ 14 heures (Hildebrand et al., 2013). Grâce à leurs travaux, le chia est maintenant cultivé aux États-Unis et est aujourd'hui une culture rentable au Kentucky (Sosa et al., 2016; Phillips, 2017).

Comme partout dans le monde, le chia suscite un intérêt croissant au Québec. Les consommateurs sont de plus en plus sensibilisés aux bienfaits sur la santé de ce super-aliment et les graines de chia sont vendues dans la plupart des supermarchés. Elles sont également souvent utilisées comme ingrédients dans les aliments transformés comme les céréales, le pain et les barres de collation. Les graines de chia disponibles sur le marché québécois proviennent principalement du Mexique et de la Bolivie. Or, s'il était éventuellement démontré que cette culture présente un potentiel agronomique et économique au Québec, le chia pourrait s'avérer intéressant, et ce, pour tous les intervenants de la chaîne de valeur en grandes cultures. Pour les producteurs biologiques, l'introduction d'une nouvelle culture dans la rotation peut présenter un outil de gestion du risque intéressant pour conserver, à des bas niveaux, la pression des ravageurs, des mauvaises herbes ou des maladies sur l'ensemble des cultures produites.

Est-ce possible de cultiver du chia biologique dans une région aussi nordique que le Québec ? En 2015, des travaux préliminaires dirigés par Josée Boisclair, chercheur de l'Institut de Recherche et de Développement en Agroenvironnement (IRDA), avaient suggéré que les variétés à jours longs développées au Kentucky étaient en mesure de pousser dans nos conditions. Durant ces essais, trois lignées produites au Kentucky avaient été cultivées à la Plateforme d'innovation en agriculture biologique (PIAB) de l'IRDA. Toutes avaient atteint leur maturité avant les premiers gels et avaient produit des rendements comparables et parfois même supérieurs au rendement commercial moyen de 500 à 600 kg/ha obtenus en Argentine (Coates et Ayerza, 1996). L'équipe de recherche a poursuivi ses travaux à travers le projet de recherche de plus grande envergure visant à évaluer le potentiel de la culture du chia biologique au Québec. Ce rapport se consacre aux résultats de ce projet de recherche.

2 OBJECTIFS DE L'ÉTUDE

L'objectif général du projet était de déterminer le potentiel de la culture du chia biologique au Québec. Cet objectif se décomposait en deux volets soit :

- Volet 1 : Identifier les meilleures pratiques culturelles pour la culture du chia biologique au Québec
- Volet 2 : Effectuer une analyse technico-économique pour mesurer la rentabilité de la culture du chia biologique au Québec

3 VOLET 1 : IDENTIFIER LES MEILLEURES PRATIQUES CULTURALES POUR LA PRODUCTION BIOLOGIQUE DU CHIA AU QUÉBEC

Plusieurs travaux de recherche sur la régie de culture du chia ont été réalisés ou sont en cours de réalisation dans le monde. Bien entendu, la majorité de ces travaux se concentrent principalement dans les principaux pays producteurs de chia (Ayerza et Coates, 2009; Baginsky et al. 2016; Bochicchio et al. 2015). Au Québec, aucune étude n'avait encore réalisée sur la culture du chia. Les pratiques culturelles les mieux adaptées à nos conditions sont donc pour la plupart inconnues. Les essais consacrés à ce premier volet visaient plus particulièrement à identifier la date et le taux de semis du chia les mieux adaptés à une production biologique en contexte québécois.

3.1 MATÉRIEL ET MÉTHODE

3.1.1 Durée et site de l'étude

Les travaux de recherche ont été réalisés à la Plateforme d'innovation en agriculture biologique (PIAB) de l'Institut de Recherche et de Développement en Agroenvironnement (IRDA) située dans la municipalité de Saint-Bruno-de-Montarville en Montérégie. Afin d'obtenir des résultats concluants qui tiennent compte des conditions climatiques qui peuvent varier et influencer grandement l'atteinte de maturité du chia, l'expérimentation a été répétée sur deux ans, en 2016 et 2017. Comme le chia est connu pour être une plante qui préfère pousser dans des sols bien drainés (Ayerza et Coates, 2005), les essais ont été effectués dans un champ de loam-sableux.

3.1.2 Traitements

La date et le taux de semis du chia sont les deux paramètres qui ont été étudiés dans le cadre de ces essais.

Comme le chia est connu pour être sensible au gel (Ayerza et Coates, 2005), trois dates de semis après la période de risque de gel tardif au printemps ont été ciblées entre la fin mai et la fin juin. Le tableau 1 présente les trois dates de semis évaluées en 2016 et 2017. Pour chacune de ces dates de semis, les trois taux de semis suivants ont été mis à l'essai : 2, 4 et 6 kg/ha.

Tableau 1. Dates de semis du chia en 2016 et 2017

Année	Dates de semis		
	Semis #1	Semis #2	Semis #3
2016	25 mai	3 juin	22 juin
2017	24 mai	8 juin	22 juin

3.1.3 Dispositif expérimental

Un dispositif en tiroirs a été utilisé et répété quatre fois (quatre blocs), avec en parcelles principales : la date de semis et en parcelles secondaires : le taux de semis (figures 1 et 2). Pour chaque date de semis, des parcelles de quatre rangs de 3 m de long et espacées de 0,76 m ont été semées manuellement aux taux suivants : 2, 4 et 6 kg à l'hectare.

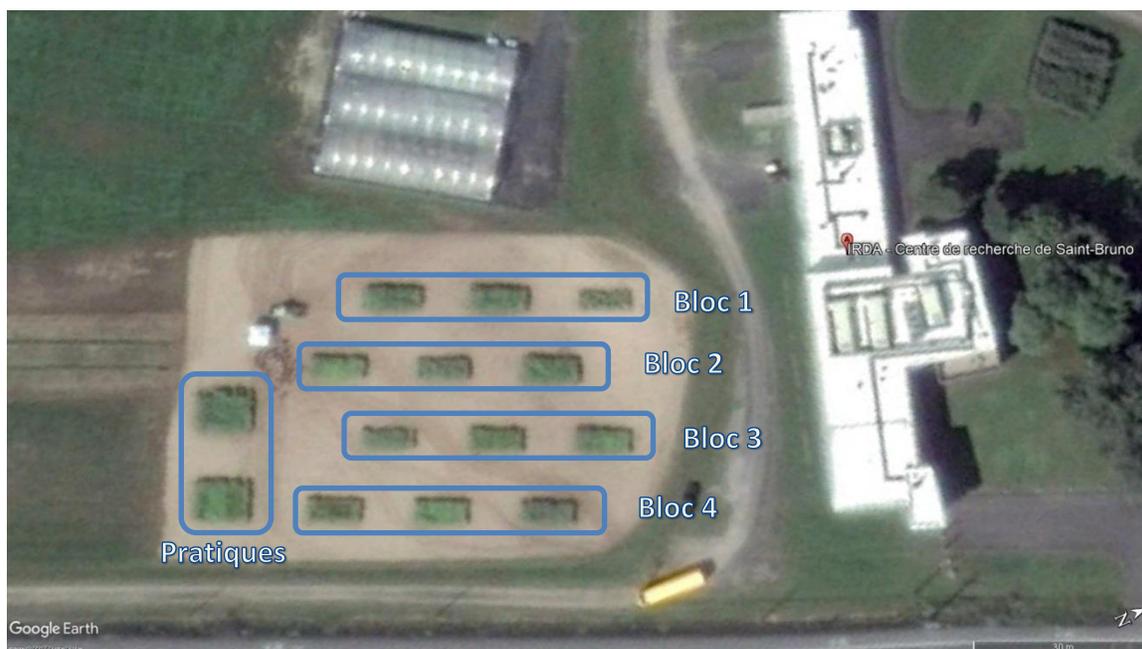


Figure 1. Vue aérienne du dispositif expérimental de 2017.



Figure 2. Parcelle principale et parcelles secondaires.

3.1.4 Opérations culturales

En 2016 comme en 2017, des travaux primaires de sol ont été réalisés sur le site à l'aide d'un cultivateur lourd et/ou d'un petit vibroculteur afin de réprimer les mauvaises herbes avant les semis. En 2016, seulement deux faux semis ont été effectués sur l'ensemble des traitements alors qu'en 2017, un à quatre faux semis supplémentaires ont été réalisés selon les dates de semis. Le printemps très humide de 2017 a réduit l'efficacité

de ces opérations. Les parcelles ont été fertilisées avec du fumier de poulet granulé (5-3-2) à un taux d'application de 50 kg N/ha. En 2016, la dose de fertilisant a été fractionnée en deux temps alors qu'en 2017 elle a été appliquée en totalité lors du semis. Les semences de chia ont été semées manuellement à une profondeur d'environ 1,5 cm et irriguées manuellement sur les rangs après le semis. En 2016, les parcelles ont été irriguées une seconde fois par aspersion lors d'une forte période de sécheresse le 16 août. Les parcelles ont été désherbées mécaniquement entre les rangs et manuellement sur les rangs lors des deux années d'expérimentation. Le tracteur porte-outils Mazzotti a été utilisé pour le désherbage environ une fois par semaine, avec ou sans les duo-parallélogrammes, dépendamment du stade de croissance des plants de chia (figure 3). À l'automne, toutes les parcelles ont été récoltées en même temps d'abord manuellement, puis mécaniquement avec une moissonneuse-batteuse (figure 4). Un contre-batteur à soya combiné à des tamis pour le lin ont été utilisés sur la moissonneuse-batteuse lors de la récolte. En 2017, pour assurer une meilleure séparation des graines et des épis, une barre d'ébarbage pour céréale a été ajoutée au contre batteur.

Tableau 2. Dates des opérations culturales pour la saison 2016

2016			
Opérations	Semis #1	Semis #2	Semis #3
Travail primaire du sol/faux semis	16 et 19 mai	16 mai et 3 juin	16 mai et 20 juin
Fertilisation en N pour la saison (50 kg N/ha)			
12,5 kg N/ha	19 mai	3 juin	20 juin
37,5 kg N/ha	20 juillet	29 juillet	17 août
Semis	25 mai	3 juin	22 juin
Irrigation	25 mai et 16 août	3 juin et 16 août	22 juin et 16 août
Taux de semis	2, 4 et 6 kg/ha		
Sarclage mécanique de l'entre-rang (ER)	3, 10, 20, 29 juin et 6, 12 juillet	20, 29 juin et 6, 13 juillet	6, 13, 21 et 28 juillet
Sarclage manuel du rang (R)	13 juin et 15 septembre	28 juin et 15 septembre	12 juillet et 15 septembre
Récoltes	Manuelle : 24 et 25 octobre Mécanique : 25 octobre		

Tableau 3. Dates des opérations culturales pour la saison 2017

2017			
Opérations	Semis #1	Semis #2	Semis #3
Travail primaire du sol/ faux semis	12, 19 et 23 mai	12, 19, 23 mai et 2, 7 juin	12, 19, 23 mai et 2, 7, 21 juin
Fertilisation en N pour la saison (50 kg N/ha)	23 mai	7 juin	21 juin
Semis	24 mai	8 juin	22 juin
Irrigation	24 mai	8 juin	22 juin
Taux de semis	2, 4 et 6 kg/ha		
Sarclage mécanique de l'entre-rang (ER)	2, 8, 15, 21, 29 juin et 3 juillet	15, 21, 29 juin et 3, 13 juillet	3, 13, 18 et 28 juillet
Sarclage manuel du rang (R)	8 et 19 juin	19 juin et 3 juillet	5 et 20 juillet
Récoltes	Manuelle : 19-20 octobre Mécanique : 20 octobre		



Figure 3. Sarclage mécanique du chia avec les duos parallélogrammes montés sur le tracteur porte-outils Mazzotti



Figure 4. Récoltes manuelle et mécanique

3.1.5 Paramètres mesurés

À chaque semaine, le stade de croissance du chia était évalué et cinq plants étaient dépistés pour la présence de maladies et de ravageurs dans chaque parcelle secondaire. Les insectes ravageurs étaient identifiés et dénombrés et la présence de maladies était notée. Avant le début de la maturation des fruits, le 13 septembre 2016 et le 14 septembre 2017, les mauvaises herbes présentes dans chaque parcelle secondaire étaient dénombrées et identifiées à l'intérieur d'un quadrat de 50 cm x 50 cm et leur biomasse sèche était mesurée.

À la récolte, pour contrôler l'effet de bordure sur les parcelles, 25 centimètres au bout des rangs étaient retirés manuellement. Sur les deux rangs centraux de chaque parcelle secondaire, la hauteur de dix plants était mesurée. Sur ces deux mêmes rangs, le nombre de plants de chia présents sur 50 cm était compté pour déterminer la densité de la culture (plants/ha). Une récolte manuelle de ces plants était ensuite réalisée. Les plants étaient coupés à leur base et ramenés au laboratoire pour être séchés. Une fois secs, la biomasse sèche des plants était mesurée et les épis étaient ébarbés puis criblés pour en extraire les graines. Les graines de chia matures contenues dans les échantillons étaient comptées et pesées afin de mesurer le rendement (kg/ha). Après la récolte manuelle, le reste des deux rangs centraux de chaque parcelle secondaire était récolté mécaniquement avec une moissonneuse-batteuse. Les graines récoltées mécaniquement étaient séchées à 40°C puis criblées avec la même méthode que les graines récoltées manuellement. Après le criblage, les graines matures étaient comptées et pesées. En 2016, quelques jours avant la récolte, une tempête a occasionné une chute importante de graines au sol. Le rendement perdu dans chaque parcelle secondaire a été estimé en collectant les semences au sol sur une surface de 20 cm X 50 cm. Ces échantillons étaient ensuite traités avec la même méthode que ceux récoltés manuellement.

3.1.6 Analyses statistiques

Modèle statistique pour l'analyse du rendement, de la densité et de la hauteur des plants, de la densité de mauvaises herbes et des proportions de plants porteurs d'altises à tête rouge.

Un modèle linéaire mixte normal a été ajusté aux données de densité de mauvaises herbes (2017), de densité et de hauteur des plants (2016-2017) ainsi que de rendement (2016-2017) avec la procédure PROC MIXED de SAS (Littell et al., 2006; SAS/STAT, version 9.4, 2002-2012). Pour les données de biomasse de mauvaises herbes de 2016 une transformation de \log_{10} a été appliquée sur les données afin de satisfaire les hypothèses sous-jacentes au modèle d'analyse de variance. Un modèle linéaire mixte généralisé avec fonction de lien logit (procédure PROC GLIMMIX de SAS) a été ajusté aux données de proportions de plants porteurs d'altises à tête rouge afin de tenir compte du caractère binomial de cette variable réponse. Pour ces deux types de modèles, les effets fixes sont la date de semis, le taux de semis et l'interaction entre ces deux facteurs. Les effets aléatoires sont les blocs, l'interaction bloc×date de semis (l'effet des parcelles) et l'erreur résiduelle (l'effet des sous-parcelles). Les tests de F sont appliqués afin de déterminer si les effets fixes sont significatifs. Lorsque les effets fixes sont trouvés significatifs, des tests de t des différences sont effectués pour comparer les moyennes deux à deux.

3.2 RÉSULTATS ET DISCUSSION

Cette section dresse un portrait des principaux résultats qui ont été obtenus lors des deux années d'expérimentation du volet 1. Pour plus de détails concernant les analyses statistiques (test de F) qui ont été produites, consultez l'annexe A.

3.2.1 Phénologie du chia

La croissance du chia a été la même peu importe le taux de semis utilisé (2, 4 et 6kg/ha) en 2016 et 2017. Le tableau 4 présente la date et le nombre de jours après le semis de l'atteinte des principaux stades phénologiques du chia selon les différentes dates de semis en 2016 et 2017. Dans l'ensemble, les trois dates de semis (fin mai à fin juin) ont produit leurs boutons floraux vers la fin juillet et début août et ont fleuri en août à une photopériode entre 14h45min et 13h21min, ce qui s'approche grandement des observations faites par Jamboonsri au Kentucky en 2009 (Jamboonsri et Phillips, 2012). Peu importe la date du semis, la saison de croissance du chia a été suffisamment longue pour que les plants atteignent leur maturité et produisent des graines au cours des deux années d'expérimentation. En 2016, la date exacte de l'atteinte de la maturité du chia est n'a pas été observée directement, mais s'est produite au cours de la première moitié du mois d'octobre comme en 2017.

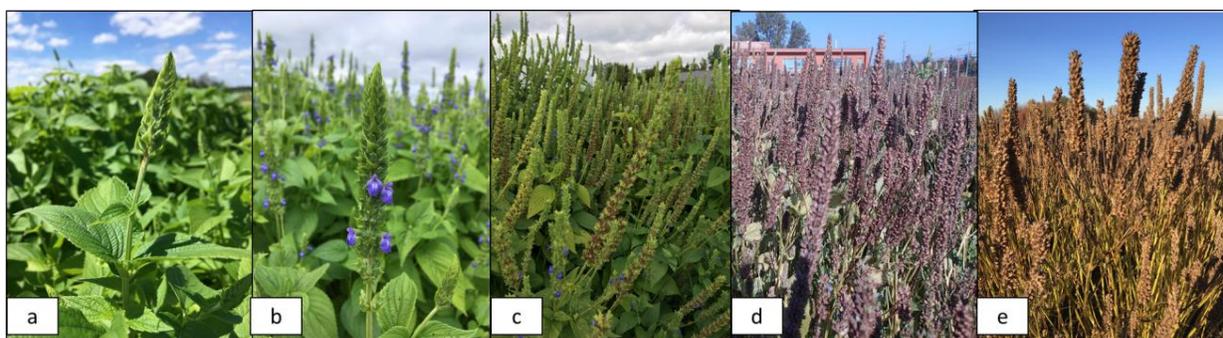
Lors de la récolte, pour être battus correctement, les plants de chia doivent être sénescents et contenir le moins d'humidité possible (figure 5). Si l'humidité est trop élevée, le mucilage contenu dans le tégument des semences peut agir comme une colle et agglomérer les graines ensemble. Le gel accélère le processus de sénescence (Phillips, 2017). Toutefois, en cas de fortes pluies ou de grands vents, attendre la pleine sénescence du chia peut

augmenter les risques d'égrenage sur pied (Ayerza et Coates, 2005; Jamboonsri, 2010). Le moment de la récolte est donc très critique. Selon Jamboonsri, dépendamment de la latitude où le chia est récolté, la période de croissance du chia, du semis à la récolte, varie entre 90 et 150 jours (Jamboonsri, 2010). En 2016, les parcelles ont été récoltées à leur pleine sénescence le 24 et 25 octobre après un premier gel d'automne, représentant une période de croissance de 152, 143 et 124 jours selon les dates de semis. En 2017, le chia a été récolté légèrement avant l'atteinte de sa pleine sénescence pour réduire le risque d'égrenage sur pied, soit le 19 et 20 octobre à 147, 138 et 119 jours après le semis qui ont été respectivement effectués les 24 mai, 8 juin et 22 juin.

Tableau 4. Date et nombre de jours après le semis de l'atteinte des principaux stades phénologiques par 50 % et plus des plants de chia en fonction des dates de semis en 2016 et 2017.

Date de semis		COT	2-4F	6-8F	≥10F	BF	FL	FR	MA
2016	25-mai	<i>n. d.</i>	08-juin (17J)	22-juin (31J)	29-juin (35J)	26-juil (62J)	09-août (76J)	30-août (97J)	<i>n. d.</i>
	03-juin	14-juin (11J)	22-juin (19J)	29-juin (26J)	06-juil (33J)	26-juil (53J)	09-août (67J)	06-sept (95J)	<i>n. d.</i>
	22-juin	29-juin (7J)	13-juil (21J)	19-juil (27J)	26-juil (34J)	16-août (55J)	30-août (69J)	27-sept (97J)	<i>n. d.</i>
2017	24-mai	30-mai (6J)	12-juin (19J)	19-juin (26J)	03-juil (40J)	17-juil (54J)	07-août (75J)	28-août (96J)	03-oct (132J)
	08-juin	12-juin (4J)	26-juin (18J)	03-juil (25J)	17-juil (39J)	24-juil (46J)	14-août (67J)	06-sept (90J)	03-oct (117J)
	22-juin	26-juin (4J)	10-juil (18J)	17-juil (25J)	24-juil (32J)	07-août (46J)	28-août (67J)	06-sept (76J)	10-oct (110J)

COT= cotylédons; 2-4F= 2 à 4 feuilles, 6-8F = 6 à 8 feuilles; ≥10F = égale ou plus de 10 feuilles; BF = bouton floral; FL = floraison; FR = fructification; MA: fruit mature; n. d.= données non disponibles



a. bouton floral (BF); b. floraison (FL); c. fructification (FR); d. fruit mature (MA); e. plant prêt à la récolte

Figure 5. Maturation des épis de chia

3.2.2 Suivi entomologique et phytopathologique du chia

En 2016 comme en 2017, aucune maladie n'a été observée sur les plants de chia. L'altise à tête rouge (*Systema frontalis*) a été l'insecte ravageur le plus abondant dans les parcelles. La figure 6 présente le nombre de plants porteurs d'altises à tête rouge selon les dates de semis au cours des deux années d'expérimentation. En 2016, le nombre de plants porteurs d'altises à tête rouge a été très similaire entre les trois dates de semis. Un pic d'environ 70 % de plants porteurs d'altises à tête rouge a été observé au début août. En 2017, la date de semis a

eu un effet significatif sur le nombre moyen de plants porteurs de l'insecte au cours de la saison (Test de F; $F=48,88$, $P<0,001$). Les deux premières dates de semis (24 mai, moy=5,7%; 8 juin, moy= 6,4%) ont eu des niveaux d'infestation significativement inférieurs à la troisième date de semis (22 juin, moy= 19%) ($P<0,001$), qui s'approchait davantage des niveaux observés en 2016 (moy= 23%). D'autres insectes ravageurs, moins abondants, comme la punaise terne (*Lygus lineolaris*) et des pucerons (*Aphididae*) ont aussi été observés dans les parcelles de chia. En Italie, la présence de pucerons sur les plants de chia avait déjà été observée (Bochicchio et al. 2015). Malgré la présence d'insectes ravageurs, les dommages sur la culture sont demeurés négligeables au cours des deux années. Au Kentucky, les chercheurs n'ont également identifié aucun insecte et maladie causant de problèmes sérieux sur la culture du chia (Kaiser et Ernst, 2016). En fait, le chia est une plante aromatique et ses feuilles contiennent des huiles essentielles avec une capacité d'action répulsive contre les insectes (Amato et al., 2015) ce qui peut expliquer en partie ces observations. Si les insectes ravageurs semblent peu attirés par les plants de chia, ce n'est pas le cas des insectes pollinisateurs qui ont été observés en très grands nombres dans les parcelles au moment de la floraison.

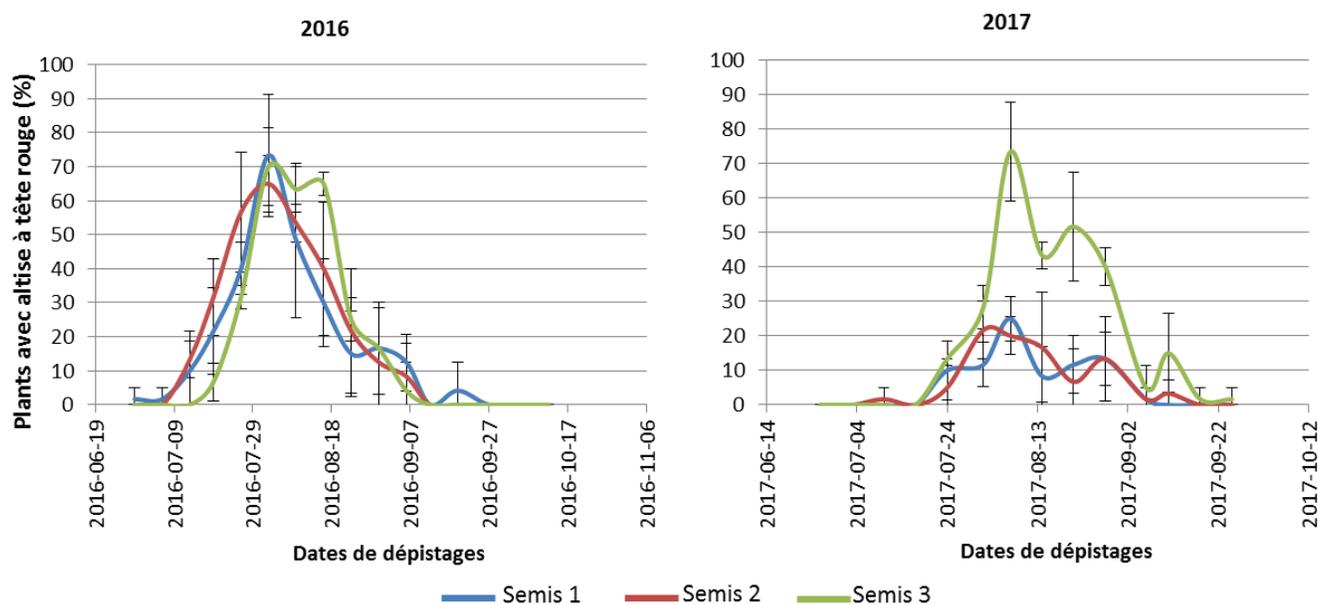


Figure 6. Pourcentages (moyenne \pm écart-type) de plants porteurs d'altises à tête rouge (*Systema frontalis*) selon les dates de semis du chia en 2016 et 2017.

3.2.3 Pression des mauvaises herbes

Comme bien des cultures, le chia est particulièrement sensible à la compétition des mauvaises herbes en début de saison (Ayerza et Coates, 2005). Dans la littérature, une période d'environ 45 jours après le semis est souvent citée comme la période la plus critique pour la gestion des mauvaises herbes pour cette culture. Une fois la culture bien établie, le chia s'avère toutefois compétitif avec les mauvaises herbes (Bochicchio et al. 2015; Ayerza et Coates, 2005). Lors de nos essais, les parcelles de chia ont été désherbées mécaniquement presque une fois par semaine jusqu'à ce que les plants soient trop gros pour permettre le passage de la machinerie. Dépendamment des années et dates de semis, la période de sarclage s'était étendue du semis à 36 à 48 jours

après le semis. La figure 7 présente la biomasse sèche des mauvaises herbes échantillonnées le 13 septembre 2016 et le 14 septembre 2017 selon les dates et les taux de semis. Lors des deux années, la date de semis n'a pas eu d'effet significatif sur la biomasse sèche des mauvaises herbes (Test de F; 2016: $F= 1,81$, $P= 0,2419$; 2017: $F= 2,86$, $P= 0,0905$). En 2016, une différence significative a été mesurée entre les taux de semis (Test de F; $F=5,55$, $P= 0,0133$), mais cette tendance ne s'est pas répétée en 2017. Les résultats montrent toutefois de très grands intervalles de confiance qui s'expliquent par la présence sporadique de très grosses mauvaises herbes qui ont échappé aux désherbages.

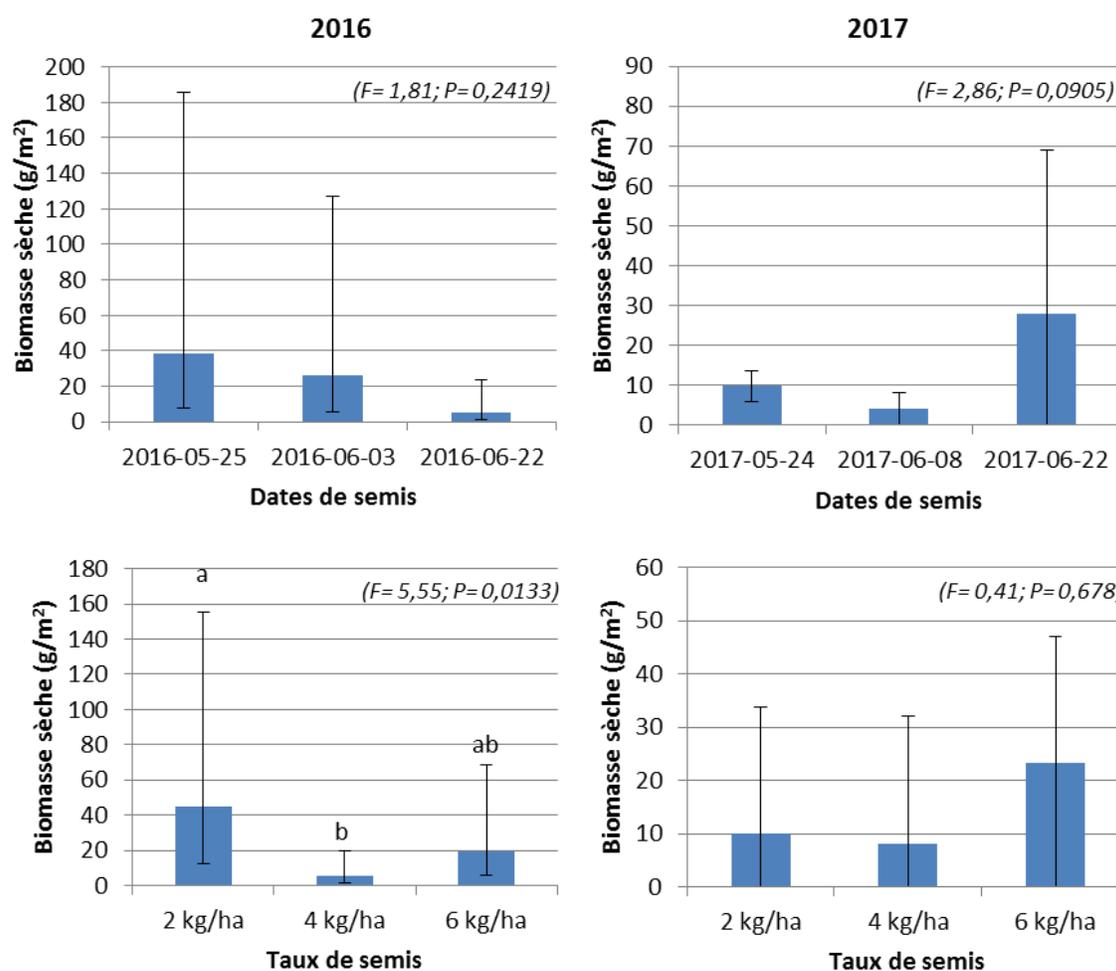


Figure 7. Biomasses sèches des mauvaises herbes (g/m²) (moyenne ± borne inf; sup, intervalle de confiance 90%), selon les dates et taux de semis en 2016 et 2017. (Pour les Tests F significatifs ($P \leq 0,05$), les résultats n'ayant pas la même lettre sont significativement différents; pour les Tests F non significatifs ($P > 0,05$), les lettres ne sont pas présentées)

3.2.4 Densité, hauteur et biomasse des plants à la récolte

En 2016, la date de semis n'a pas eu d'effet significatif sur la densité des plants de chia à la récolte. Le taux de semis a toutefois influencé significativement la densité des plants par hectare (Test F; $F= 4.53$, $P= 0,0256$). Les parcelles semées à 6 kg/ha (moy= 1 237 939 plants/ha) ont montré en moyenne un peuplement significativement supérieur à celles de 2 kg/ha (moy= 822 368 plants/ha) (figure 8). En 2017, les mêmes tendances ont été mesurées, sauf pour la dernière date de semis (22 juin), qui a montré un peuplement très faible, peu importe le taux de semis (figure 9). Ce faible peuplement s'explique par les mauvaises conditions climatiques qui ont eu lieu au moment du semis (vents violents) qui s'est traduit par une levée très inégale des parcelles.

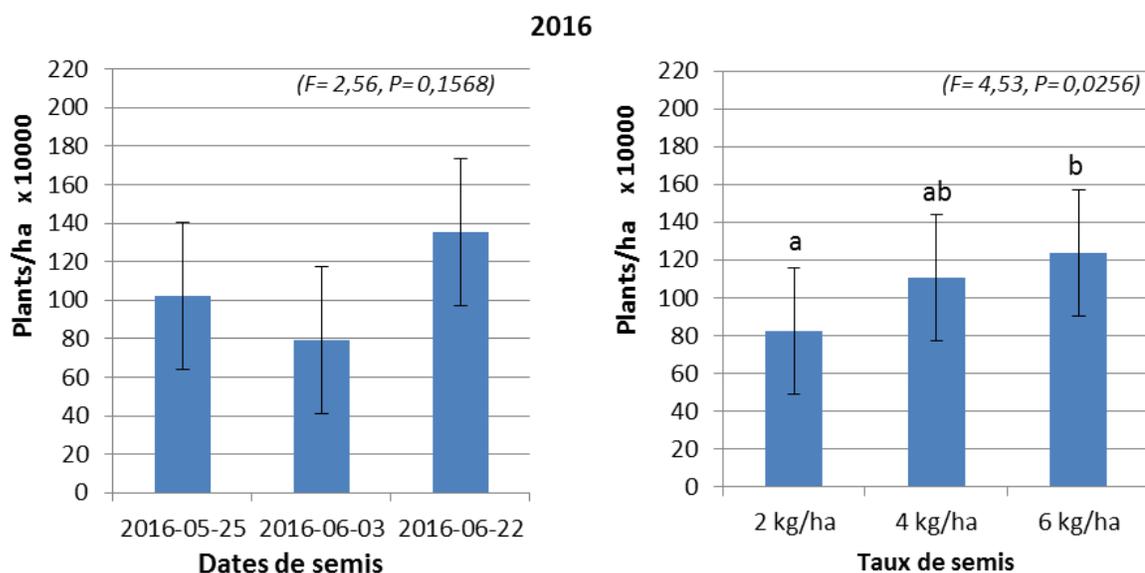


Figure 8. Nombre de plants à l'hectare (moyenne \pm borne inf; sup, intervalle de confiance 90 %) à la récolte en fonction des dates et taux de semis en 2016 (Pour les Tests F significatifs ($P \leq 0,05$), les résultats n'ayant pas la même lettre sont significativement différents; pour les Tests F non significatifs ($P > 0,05$), les lettres ne sont pas présentées)

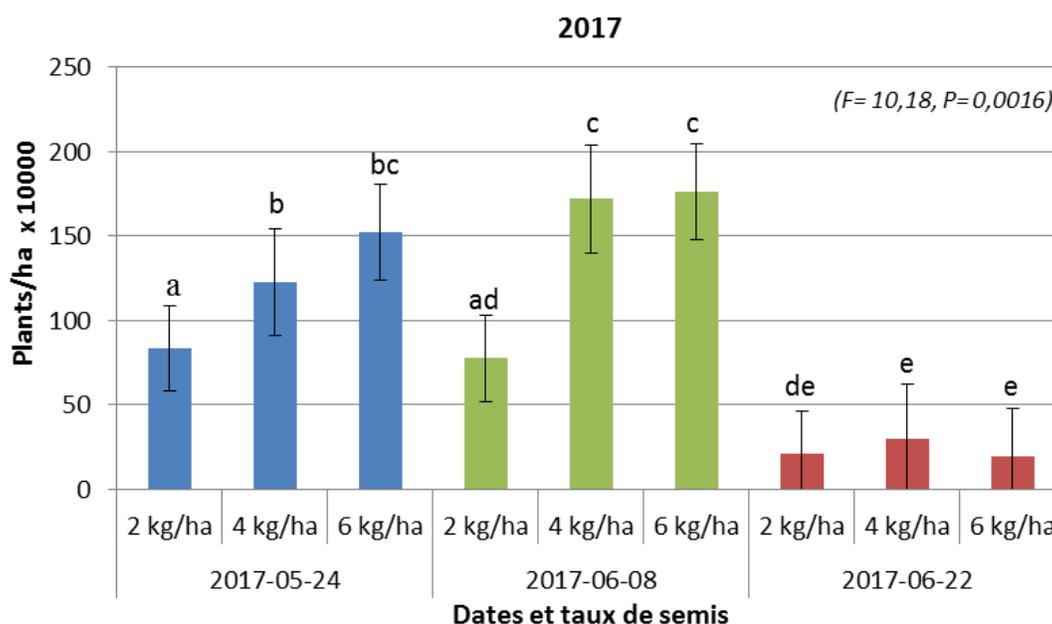


Figure 9. Nombre de plants à l'hectare (moyenne ± borne inf; sup, intervalle de confiance 90 %) à la récolte en fonction des dates et taux de semis en 2017. (Test F significatifs ($P \leq 0,05$), les résultats n'ayant pas la même lettre sont significativement différents)

Contrairement à Ayerza et Coates (2005) qui avaient déjà documenté une augmentation de la biomasse des plants lorsqu'ils étaient semés plus hâtivement, la date de semis n'a pas eu d'effet significatif sur la biomasse sèche des plants à la récolte (t/ha) lors des deux années d'expérimentation (figure 10). Malgré le faible peuplement qui a été mesuré dans les parcelles semées le 22 juin 2017 (figure 9), celles-ci ont montré une biomasse égale aux deux autres dates de semis (8 juin 2017 et 24 mai 2017), ce qui démontre la grande plasticité des plants de chia. Aucun effet du taux de semis sur la biomasse sèche des plants n'a été observé lors de nos essais (figure 10). L'augmentation de la biomasse des plants est habituellement corrélée avec le rendement. Plus les plants sont gros, plus ils auront tendance à produire de bon rendements (Ayerza et Coates, 1998). Une biomasse élevée n'est toutefois pas nécessairement idéale, car la période de séchage de la plante au champ sera plus longue, ce qui augmente les risques d'égrenage sur pied (Ayerza et Coates, 2005).

La hauteur moyenne des plants à la récolte s'est avérée similaire entre les deux années d'essais (figure 11) avec une hauteur moyenne de 116 cm en 2016 et de 123 cm en 2017, ce qui est similaire aux données citées dans la littérature (Kaiser et Ernst, 2016; Mohd Ali et al., 2012). Aucun effet du taux de semis ou de la date de semis sur la taille des plants a été mesuré, sauf en 2017 où les plants semés plus hâtivement ont eu tendance à être légèrement plus grands (Test de F; $F = 5,81$, $P = 0,024$) en atteignant en moyenne 135 cm.

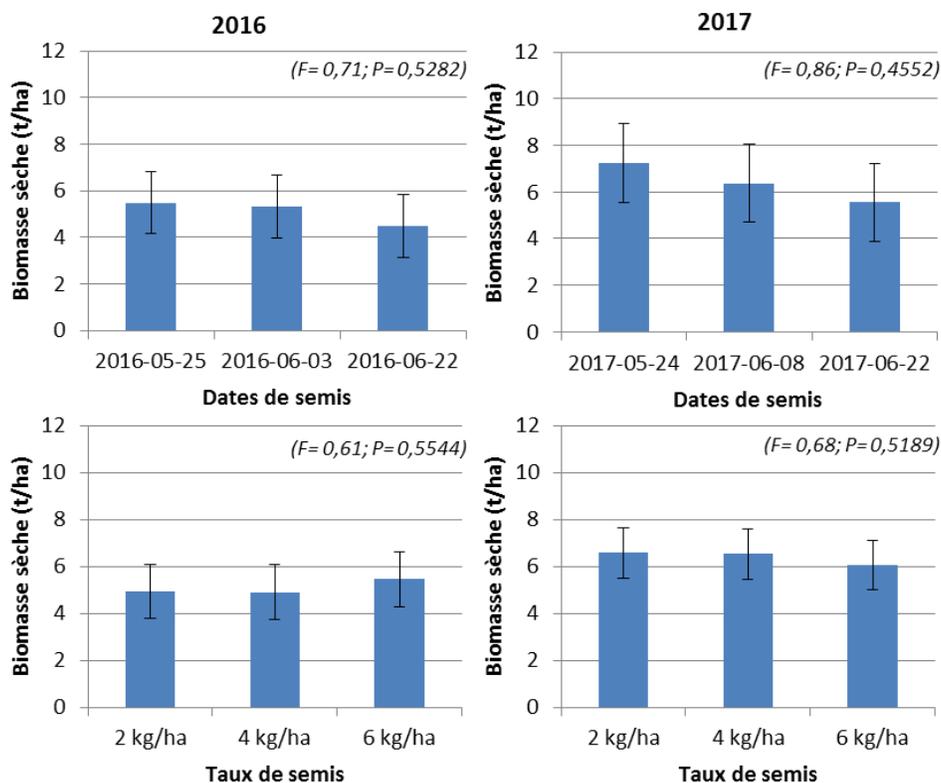


Figure 10. Biomasses sèches (t/ha) des plants de chia à la récolte (moyenne \pm borne inf; sup, intervalle de confiance 90 %), selon les dates et taux de semis en 2016 et 2017. (Pour les Tests F significatifs ($P \leq 0,05$), les résultats n'ayant pas la même lettre sont significativement différents; pour les Tests F non significatifs ($P > 0,05$), les lettres ne sont pas présentées)

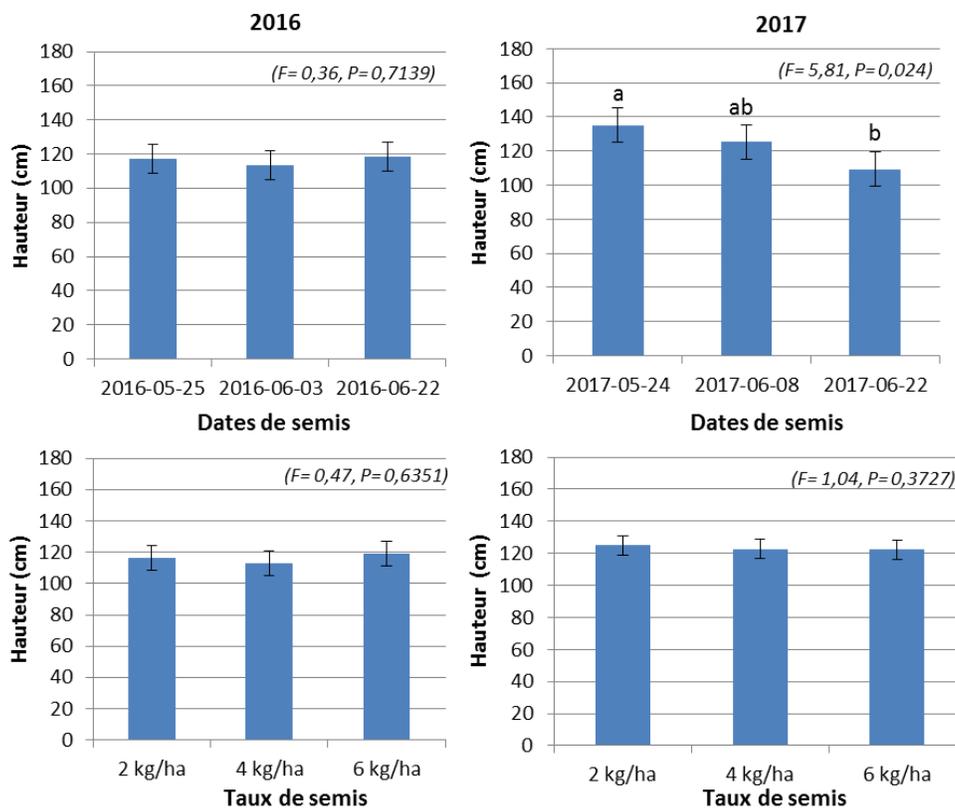


Figure 11. Hauteur des plants (moyenne \pm borne inf; sup, intervalle de confiance 90 %) à la récolte selon les dates et taux de semis en 2016 et 2017. (Pour les Tests F significatifs ($P \leq 0,05$), les résultats n'ayant pas la même lettre sont significativement différents; pour les Tests F non significatifs ($P > 0,05$), les lettres ne sont pas présentées)

3.2.5 Rendement en graines mures et perte de rendement par égrenage sur pied

La figure 12 présente les rendements en graines mures (kg/ha) de la récolte mécanique de 2016 et 2017 selon les dates et taux de semis. Aucun effet significatif de la date (Test de F; 2016: $F=1,38, P=0,3008$; 2017: $F=1,54, P=0,2663$) et du taux de semis (Test de F; 2016: $F=0,33, P=0,7246$; 2017: $F=3,23, P=0,0632$) sur le rendement a été mesuré au cours de deux années. Par conséquent, peu importe si le chia a été semé hâtivement ou tardivement et peu importe s'il a été semé à 2, 4 ou 6 kg/ha, le rendement final des parcelles est demeuré similaire (2016 : moy. = 246 kg/ha; 2017 : moy. = 1305 kg/ha).

En 2016, d'importantes quantités de semences ont été perdues à cause de l'égrenage sur pied à la suite d'un orage violent survenu juste avant la récolte. Ceci explique les faibles rendements récoltés (moy. = 246 kg/ha). On estime que plus de 60% du rendement aurait été perdu après la tempête (figure 13). En 2016, la récolte manuelle a permis de récolter significativement plus de rendement que la récolte mécanique, 300 kg/ha contre 245 kg/ha, ce qui suggère qu'une perte supplémentaire de rendement aurait été causée par la batteuse lors de la récolte (test de F; $F=11,08, P=0,0025$) (figure 15).

En 2017, comme les parcelles ont été récoltées légèrement avant leur pleine sénescence, l'égrenage sur pied a été réduit (figure 14). Le rendement des parcelles en 2017 a été très élevé (moy. = 1305 kg/ha). Ce rendement est au-delà du rendement commercial moyen Argentin de 350 à 600 kg/ha rapporté dans la littérature par Coates et Ayerza (1998) et Sosa (2016). Le rendement mesuré en 2017 se rapproche davantage des rendements que certains producteurs de chia conventionnel du centre sud du Kentucky ont l'habitude d'avoir (~1000 kg/ha) (Phillips, 2017). Ces producteurs cultivent des lignées de chia similaires à celle utilisée dans le cadre de cette étude, À noter qu'en 2017, les ajustements plus précis de la moissonneuse-batteuse ont permis un meilleur battage de la culture, aucune perte de rendement causée par la machinerie n'ayant été mesurée (Test de F; $F=0,01$, $P=0,9069$) (figure 15).

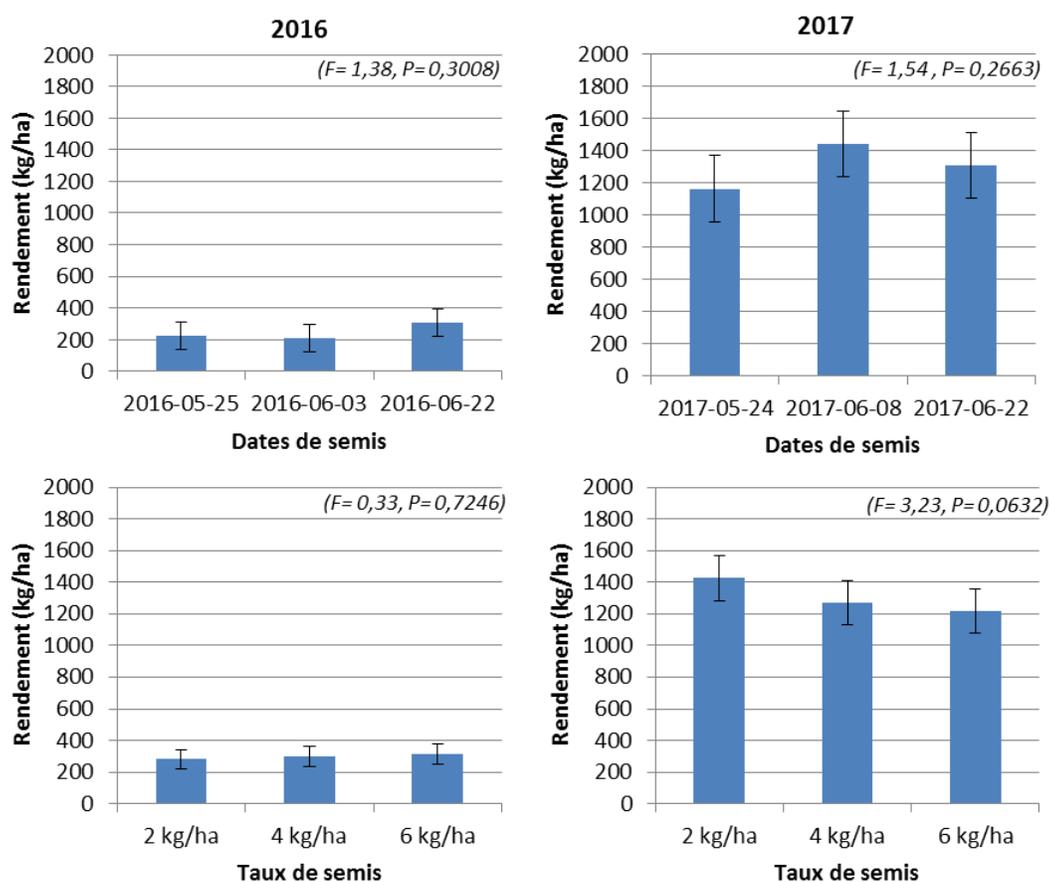


Figure 12. Rendement à l'hectare en graines matures (moyenne ± borne inf; sup, intervalle de confiance 90 %) à la récolte mécanique, selon les dates et taux de semis en 2016 et 2017. (Pour les Tests F significatifs ($P \leq 0,05$), les résultats n'ayant pas la même lettre sont significativement différents; pour les Tests F non significatifs ($P > 0,05$), les lettres ne sont pas présentées)

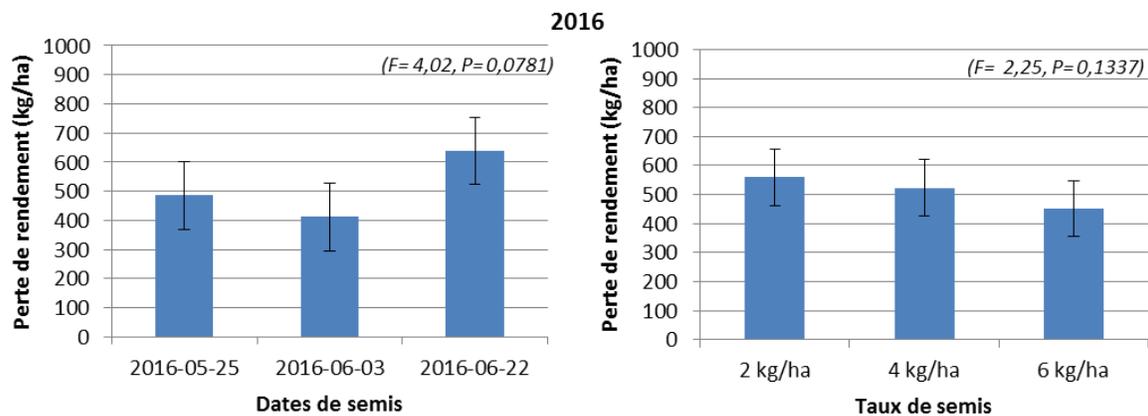


Figure 13. Perte de rendement en graines matures à l'hectare causé par l'égrenage sur pied (moyenne ± borne inf; sup, intervalle de confiance 90 %), selon les dates et taux de semis en 2016. (Pour les Tests F significatifs ($P \leq 0,05$), les résultats n'ayant pas la même lettre sont significativement différents; pour les Tests F non significatifs ($P > 0,05$), les lettres ne sont pas présentées)



Figure 14. Apparence des épis au moment de la récolte en 2016 et 2017.

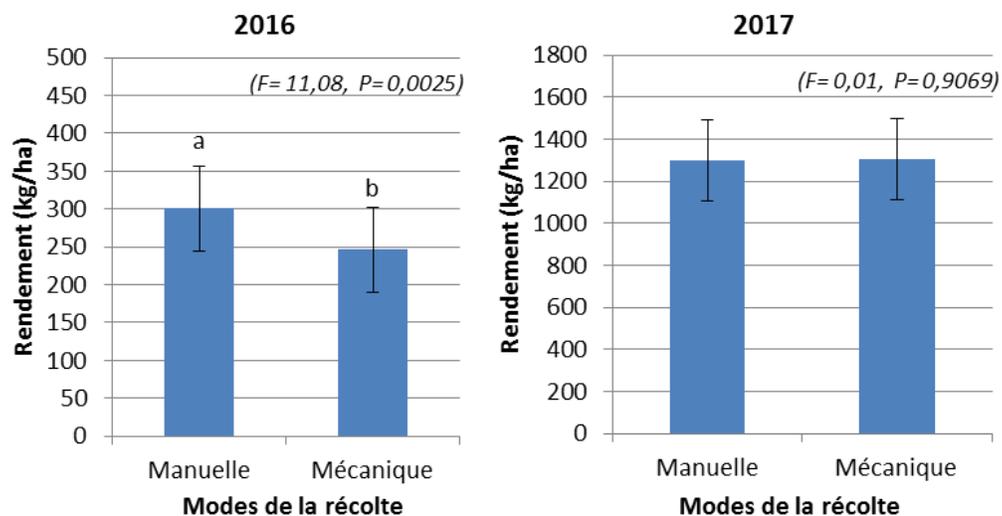


Figure 15. Rendement en graines matures (kg/ha) (moyenne \pm borne inf; sup, intervalle de confiance 90 %), selon le mode de récolte en 2016 et 2017. (Pour les Tests F significatifs ($P \leq 0,05$), les résultats n'ayant pas la même lettre sont significativement différents; pour les Tests F non significatifs ($P > 0,05$), les lettres ne sont pas présentées)

4 VOLET 2 : EFFECTUER UNE ANALYSE TECHNICO-ÉCONOMIQUE POUR MESURER LA RENTABILITÉ DE LA CULTURE DU CHIA BIOLOGIQUE AU QUÉBEC

4.1 MISE EN CONTEXTE

Il existe très peu d'études économiques sur la culture et la commercialisation du chia. Or, certaines références indiquent que la demande pour cet aliment serait en croissance et qu'elle excéderait l'offre, autant au Canada (AAC, 2013) qu'à l'international (Gleeson et al., 2014a; Kaiser & Ernst, 2016). Les études de rentabilité se font aussi rares, mais on rapporte en Australie que la culture de chia offrirait des profits nets de 700 \$/ha¹ (NAAM, 2016). Certains analystes américains soutiennent aussi que la culture de chia présenterait une meilleure rentabilité que celle du soya (Kaiser & Ernst, 2016). Au chapitre du chia biologique, on rapporte aux États-Unis, contrairement aux autres cultures, qu'il n'existerait pas vraiment de prime de prix par rapport au chia conventionnel (Kaiser & Ernst, 2016; Kummer, 2018). Or, la situation est toute autre au Québec, alors que le chia biologique importé se mérite une prime de prix de 15 à 20 % par rapport au chia conventionnel (Gombos, 2018).

Dans ce contexte, il est important d'évaluer la faisabilité économique et commerciale de la culture de chia biologique au Québec. À partir des résultats agronomiques, l'analyse est réalisée en mesurant la marge sur coûts variables (MCV) et en comparant celle-ci à la rentabilité d'autres grandes cultures biologiques (CRAAQ, 2014a, 2016, 2017, 2018a, 2018b). Rappelons que la MCV est simplement le résultat de la différence entre les revenus de production et les coûts variables.

4.2 MÉTHODE

4.2.1 Revenus

Les revenus ont été calculés en utilisant des rendements variant par intervalles de 200 kg/ha, entre 600 et 1 400 kg/ha, plutôt que d'utiliser strictement les rendements obtenus à l'intérieur du projet. Cette approche permet une analyse de sensibilité et d'évaluer un seuil de rentabilité. Le prix utilisé est de 2 500 \$/tonne (\$/t). Bien que le prix du chia conventionnel à l'international se situe présentement à 2 150 \$/t (Kummer, 2018), il faut plutôt considérer une prime de prix au biologique d'au moins 15 % au Québec (Gombos, 2015). Enfin, aucun revenu n'est considéré pour la vente éventuelle de paille de chia. Il est difficile en effet pour l'instant d'évaluer le potentiel de cette paille comme litière.

¹ Ce montant est en dollar australien mais en début 2018, comme pour 2017 en moyenne, les dollars canadien et australien s'échangeaient au pair.

4.2.2 Coûts variables

i. Approvisionnements

Les approvisionnements sont composés de semences et de fertilisants seulement. Puisque l'analyse statistique démontre que le taux de semis n'a pas d'effet significatif sur le rendement, seul le taux de semis de 2 kg/ha est utilisé dans le calcul économique. Le coût unitaire de la semence de chia conventionnel est de 43 \$/kg (Kummer, 2018). Toutefois, bien que le coût de la semence de chia biologique ne soit pas connu pour l'instant, l'hypothèse d'une prime de prix de 15 % est retenue.

Quant à la fertilisation, les taux d'application utilisés sont ceux des essais et le coût unitaire a été fourni par le fournisseur (Thibault, 2018). Pour les producteurs, il y a possibilité de réaliser des économies d'échelle sur l'achat des fertilisants, en fonction du volume commandé. Or, dans la présente analyse, ce potentiel d'économie d'échelle n'est pas considéré afin d'adopter une approche conservatrice.

ii. Opérations culturales

Le coût des opérations culturales (OC) est évalué sur la base des OC menées dans le cadre des essais. Ceux-ci varient en fonction des trois dates de semis expérimentées. Aussi, bien que ces OC peuvent varier d'une ferme à l'autre, la section sur les résultats économiques montre que les coûts évalués sont semblables à ceux observés dans plusieurs références du CRAAQ (2014a, 2016, 2017, 2018a). Les OC considérées sont au nombre de cinq : 1) travail primaire du sol (i.e. travail du sol/incorporation d'engrais/faux semis), 2) semis, 3) application de fertilisants, 4) sarclage et 5) récolte. Les coûts unitaires sont tirés des *Références économiques* du CRAAQ (2014b). À l'égard des coûts de récolte, les coûts relatifs à la récolte de canola sont retenus puisque la graine de chia, tout comme la graine de canola, est de petite dimension.

iii. Frais de mise en marché

Les frais de mise en marché doivent être considérés car ceux-ci varient en fonction du volume récolté et donc des rendements. La référence retenue à cet effet est la mise en marché du canola biologique (CRAAQ, 2014a).

4.3 RÉSULTATS

Les résultats du calcul des MCV sont présentés au tableau 5 en fonction des trois dates de semis (S1, S2, S3) et des différents intervalles de rendements de 200 kg/ha entre 600 et 1 400 kg/ha. Le tableau 6 affiche les données de référence tirées des *Références économiques* du CRAAQ.

Tableau 5. Marges sur coûts variables dans la production de chia biologique en fonction de trois dates de semis.

Rendements	2016					2017					
	600 kg/ha	800 kg/ha	1 000 kg/ha	1 200 kg/ha	1 400 kg/ha	600 kg/ha	800 kg/ha	1 000 kg/ha	1 200 kg/ha	1 400 kg/ha	
S1	Total produits (\$/ha)	1 500 \$	2 000 \$	2 500 \$	3 000 \$	3 500 \$	1 500 \$	2 000 \$	2 500 \$	3 000 \$	3 500 \$
	Total des approvisionnements (\$/ha)	622 \$	622 \$	622 \$	622 \$	622 \$	726 \$	726 \$	726 \$	726 \$	726 \$
	Total des opérations culturales (\$/ha)	129 \$	129 \$	129 \$	129 \$	129 \$	140 \$	140 \$	140 \$	140 \$	140 \$
	Total des frais de mise en marché (\$/ha)	89 \$	118 \$	148 \$	178 \$	207 \$	89 \$	118 \$	148 \$	178 \$	207 \$
	Total coûts variables (\$/ha)	841 \$	870 \$	900 \$	929 \$	959 \$	955 \$	985 \$	1 014 \$	1 044 \$	1 073 \$
	Marge sur coûts variables (\$/ha)	659 \$	1 130 \$	1 600 \$	2 071 \$	2 541 \$	545 \$	1 015 \$	1 486 \$	1 956 \$	2 427 \$
S2	Total produits (\$/ha)	1 500 \$	2 000 \$	2 500 \$	3 000 \$	3 500 \$	1 500 \$	2 000 \$	2 500 \$	3 000 \$	3 500 \$
	Total des approvisionnements (\$/ha)	622 \$	622 \$	622 \$	622 \$	622 \$	726 \$	726 \$	726 \$	726 \$	726 \$
	Total des opérations culturales (\$/ha)	109 \$	109 \$	109 \$	109 \$	109 \$	152 \$	152 \$	152 \$	152 \$	152 \$
	Total des frais de mise en marché (\$/ha)	89 \$	118 \$	148 \$	178 \$	207 \$	89 \$	118 \$	148 \$	178 \$	207 \$
	Total coûts variables (\$/ha)	821 \$	850 \$	880 \$	909 \$	939 \$	967 \$	997 \$	1 026 \$	1 056 \$	1 085 \$
	Marge sur coûts variables (\$/ha)	679 \$	1 150 \$	1 620 \$	2 091 \$	2 561 \$	533 \$	1 003 \$	1 474 \$	1 944 \$	2 415 \$
S3	Total produits (\$/ha)	1 500 \$	2 000 \$	2 500 \$	3 000 \$	3 500 \$	1 500 \$	2 000 \$	2 500 \$	3 000 \$	3 500 \$
	Total des approvisionnements (\$/ha)	622 \$	622 \$	622 \$	622 \$	622 \$	726 \$	726 \$	726 \$	726 \$	726 \$
	Total des opérations culturales (\$/ha)	109 \$	109 \$	109 \$	109 \$	109 \$	153 \$	153 \$	153 \$	153 \$	153 \$
	Total des frais de mise en marché (\$/ha)	89 \$	118 \$	148 \$	178 \$	207 \$	89 \$	118 \$	148 \$	178 \$	207 \$
	Total coûts variables (\$/ha)	821 \$	850 \$	880 \$	909 \$	939 \$	968 \$	998 \$	1 027 \$	1 057 \$	1 086 \$
	Marge sur coûts variables (\$/ha)	679 \$	1 150 \$	1 620 \$	2 091 \$	2 561 \$	532 \$	1 002 \$	1 473 \$	1 943 \$	2 414 \$

Tableau 6. Marges sur coûts variables de certaines grandes cultures biologiques (tirées des *Références économiques* du CRAAQ).

RE	Blé d'alimentation humaine biologique	Canola biologique	Maïs-grain biologique	Soya d'alimentation humaine biologique
	Total produits (\$/ha)	2 190 \$	1 805 \$	4 032 \$
Total des approvisionnements (\$/ha)	512 \$	184 \$	491 \$	304 \$
Total des opérations culturales (\$/ha)	230 \$	187 \$	343 \$	180 \$
Total des frais de mise en marché	133 \$	204 \$	333 \$	104 \$
Total coûts variables (\$/ha)	875 \$	575 \$	1 167 \$	588 \$
Marge sur coûts variables (\$/ha)	1 315 \$	1 230 \$	2 865 \$	2 235 \$

4.3.1 Revenus

On constate tout d'abord que les produits provenant de la vente des grains de chia varient entre 1 500 et 3 500 \$/ha. Pour des niveaux de rendements du chia variant entre 800 et 1 400kg/ha, ces niveaux de revenus se compareraient assez avantageusement aux autres grandes cultures biologiques, à l'exception du maïs-grain. Les rendements obtenus dans la deuxième année du projet permettraient d'obtenir les plus hauts niveaux de revenus. Or, il faut penser qu'à l'échelle de la ferme, les facteurs de production sont moins contrôlés qu'en contexte expérimental. Aussi, les conditions pédoclimatiques par région peuvent faire varier considérablement les rendements.

4.3.2 Coûts variables

Concernant les coûts variables, on voit tout d'abord que les coûts des approvisionnements sont plus élevés pour le chia biologique que les autres grandes cultures biologiques, incluant le blé et le maïs-grain. Cette différence s'explique par des coûts de fertilisation beaucoup plus élevés dans la culture du chia, avec le type de fertilisant et les taux d'application qui ont été utilisés dans les essais. En effet, les *Références économiques* du CRAAQ (2014a, 2018a, 2018b) retiennent le fumier de poulet comme fertilisation organique, un engrais contenant 28,7 kg d'azote par tonne pour une valeur d'environ 40 \$/t (CRAAQ, 2017b).

Cela dit, la semence de chia serait passablement moins chère que celle des autres grandes cultures biologiques. Il faut dire cependant que les *Références économiques* du CRAAQ utilisent le coût des semences biologiques certifiées², alors que l'on ne peut estimer encore le coût qui prévaudrait pour de la semence de chia à la fois biologique et généalogique.

² Semences certifiées à la fois biologiques et généalogiques.

Du côté des OC, dans le contexte du projet, celles-ci dépendaient des trois dates de semis étudiées et comparées. Le coût des OC est pratiquement le même entre les traitements S2 et S3. Si les OC ont effectivement été les mêmes pour les trois traitements en 2016, ce ne fut pas le cas en 2017. Dans le traitement S2, comparativement au traitement S3, un passage de moins de travail du sol primaire a été nécessaire (-11 \$/ha), mais un sarclage de plus l'a aussi été (+10 \$/ha). C'est ce qui explique la différence de 1 \$/ha pour le coût des OC entre les traitements S2 et S3. Cela dit, le traitement S1 présente des coûts des OC supérieur en 2016, mais inférieur en 2017. Cela s'explique surtout par davantage de sarclages en 2016 et moins de travail du sol en 2017 dans le traitement S1.

À l'égard des coûts de mise en marché, la référence utilisée est la culture de canola biologique (CRAAQ, 2014a) du fait que la conformation des grains de canola et de chia se ressemble et cela est susceptible d'entraîner des coûts de mise en marché semblables (ex. : entreposage). De plus, la référence prévoit le même nombre de criblages que ce qui a dû être effectué dans le projet. Enfin, les coûts de mise en marché incluent les frais de certification biologique qu'il faudrait attribuer à la production de chia biologique.

En terminant à propos des coûts variables, ceux du chia biologique se comparent à ceux du blé d'alimentation humaine biologique et ceux du maïs-grain biologique. Les coûts variables du canola biologique et du soya d'alimentation humaine biologique sont toutefois substantiellement moindres. Les coûts de fertilisation plus élevés du chia expliquent en bonne partie cette différence.

4.3.3 Marge sur coûts variables

Les MCV varient généralement entre 650 \$/ha et près de 2 500 \$/ha en fonction des rendements. Les MCV des autres grandes cultures biologiques varient généralement entre 1 200 \$ et près de 3 000 \$/ha. Au niveau des rendements obtenus dans le cadre du projet en 2017, la culture du chia biologique se comparerait au soya d'alimentation humaine biologique. Aussi, le chia surpasserait la performance du blé et du canola mais présenterait de moins bons résultats économiques que le maïs-grain.

4.4 DISCUSSION

La culture du chia biologique présente des perspectives économiques encourageantes. Les MCV évaluées en fonction de différents types de rendement peuvent se comparer avantageusement avec les MCV de certaines autres grandes cultures biologiques. Si les rendements obtenus en 2017 lors des essais expérimentaux pouvaient être obtenus à l'échelle de la ferme, le chia performerait aussi bien que le soya, mieux que le blé et le canola, mais moins bien que le maïs-grain. Cela dit, si les résultats économiques tendent à montrer un potentiel prometteur pour la culture de chia biologique au Québec, le développement de cette culture dépend toutefois de plusieurs facteurs.

Tout d'abord, il est difficile à l'heure actuelle d'estimer la probabilité d'obtenir à la ferme des rendements approchant 1 400 kg/ha. Les rendements obtenus dans les essais expérimentaux dépassent souvent les

rendements moyens à la ferme, du fait que les facteurs de production sont mieux contrôlés en contexte expérimental. Il faudra donc d'autres travaux expérimentaux, de même que des essais à la ferme, afin de mieux jauger la probabilité d'atteindre les rendements obtenus dans les essais. Cela dit, même à des niveaux de rendements moyennés utilisés dans cette analyse (i.e. 1 000 kg/ha), la MCV du chia biologique se compare très bien à celles du blé et du canola. Dans ce contexte, le chia pourrait améliorer les rotations de cultures en grandes cultures biologiques car, qui plus est, cette culture n'est pas de la même famille qu'aucune des autres grandes cultures biologiques.

Par ailleurs, d'autres essais seront nécessaires aussi pour valider les éléments de coût et surtout, vérifier si certains de ces coûts ne pourraient pas être rationalisés. À ce chapitre, les coûts de fertilisation semblent ceux qui pourraient faire l'objet d'économies considérables. Il pourrait être intéressant aussi de vérifier si les coûts des OC pourraient être rationalisés, en particulier les OC de travail du sol et de désherbage.

Finalement, le prix payé aux producteurs sera aussi éventuellement un facteur crucial pour le développement éventuel de cette nouvelle culture. Au prix actuel qui a été utilisé dans la présente analyse, les perspectives semblent prometteuses. Toutefois, de potentiels acheteurs auront certaines exigences pour payer ce niveau de prix, même si la situation de marché demeurerait la même. Le principal de ces facteurs est le volume d'approvisionnement. Ces acheteurs voudront sûrement un volume minimal, ce qui leur permettrait en plus d'exploiter la distinction locale québécoise de cette nouvelle production.

5 CONCLUSION

Ces essais suggèrent que la culture du chia est possible et rentable dans les conditions climatiques et économiques québécoises. Les plants de chia étaient très peu affectés par les insectes ravageurs et par les maladies. La saison de croissance dans le sud du Québec a été suffisamment longue pour permettre le développement des lignées de chia développées au Kentucky. Ni la date, ni le taux de semis ont influencé le rendement en graines matures des parcelles de chia. Une date de semis entre la fin mai et la fin juin, après la période de risque de gel printanier serait optimale pour obtenir de bons rendements. Puisque tous les taux de semis testés avaient des rendements similaires, un taux de semis de 2 kg/ha serait préférable pour réduire les coûts d'approvisionnement en semences. Étant donné que le chia est sensible à l'égrenage sur pied, le moment de la récolte du chia est un élément crucial pour assurer un bon rendement. Cette problématique est bien documentée dans la littérature et a causé des pertes de rendement allant jusqu'à 60% lors des essais de 2016. Par contre, lorsque l'égrenage sur pied était bien contrôlé, des rendements allant jusqu'à 1 400 kg/ha ont été obtenus, ce qui est nettement supérieur aux rendements moyens de certains des principaux pays producteurs de chia dans le monde. D'un point de vue économique, la culture du chia biologique au Québec serait plus rentable que certaines autres grandes cultures biologiques comme le blé d'alimentation humaine et le canola. Avec un rendement similaire à celui obtenu lors des essais en 2017, un producteur pourrait espérer obtenir une marge sur coûts variables allant jusqu'à 2 400 \$ canadiens/ha. En améliorant certains aspects agronomiques comme l'approvisionnement en fertilisants, cette marge pourrait même être bonifiée. Le semis mécanique du chia, le moment optimal de la récolte, la gestion de l'égrenage sur pied et l'accessibilité aux semences sont tous des thèmes qui devront faire l'objet d'études plus approfondies avant d'envisager une production commerciale de chia biologique au Québec. Aussi, des essais à la ferme par un réseau de producteurs de grains biologiques permettraient de confirmer la faisabilité économique et agronomique de cette culture au Québec.

RÉFÉRENCES

- Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC). 2013. *Tendances de consommation - Produits de boulangerie au Canada*. AAC, Bureau des marchés internationaux, 17 pages.
- Amato, M., M. C. Caruso, F. Guzzo et F. Galgano. 2015. Nutritional quality of seeds and leaf metabolites of Chia (*Salvia hispanica* L.) from Southern Italy. *European food research & technology*. 241(5):615–625.
- Ayerza, R. et W. Coates. 2005. Chia. 1st edition. University of Arizona Press, Tuscon, Arizona, États-Unis.
- Ayerza, R. et W. Coates. 2009 b. Influence of environment on growing period and yield, protein, oil and α -linolenic content of three chia (*Salvia hispanica* L.) selections. *Industrial Crops and Products*, 30(2) : 321-324.
- Baginsky, C., J. Arenas, H. Escobar, M. Garrido, N. Valero, D. Tello, L. Pizarro *et al.* 2016. Growth and yield of chia (*Salvia hispanica* L.) in the Mediterranean and desert climates of Chile. *Chilean journal of agricultural research*, 76(3) : 255-264.
- Bochicchio, R., R. Rossi, R. Labella, G. Bitella, M. Perniola et M. Amato. 2015. Effect of sowing density and nitrogen top-dress fertilisation on growth and yield of chia (*Salvia hispanica* L.) in a Mediterranean environment: first results. *Italian Journal of Agronomy*, 10(3) : 163-166.
- Cahill, J. P. 2003. Ethnobotany of chia, *Salvia hispanica* L. (*Lamiaceae*). *Economic Botany*, 57(4) : 604-618.
- Centre de références en agriculture et agroalimentaire du Québec (CRAAQ) :
- 2014a. *Canola biologique - Budget à l'hectare (AGDEX 149.19/821)*. CRAAQ, 4 pages.
 - 2014b. *Machinerie - Coûts d'utilisation et taux à forfait suggérés (AGDEX 740/825)*. CRAAQ, 25 pages.
 - 2016. *Soya humain biologique - Budget à l'hectare (AGDEX 141.19/821)*. CRAAQ, 5 pages.
 - 2017a. *Entreprise céréalière biologique - Budget d'exploitation (AGDEX 111.19/821)*. CRAAQ, 11 pages.
 - 2017b. *Valeur de remplacement engrais de ferme (AGDEX 538)*. CRAAQ, 4 pages.
 - 2018a. *Blé panifiable biologique - Budget à l'hectare (AGDEX 112.19/821)*. CRAAQ, 6 pages
 - 2018b. *Maïs-grain biologique - Budget à l'hectare (AGDEX 111.19/821a)*. CRAAQ, 5 pages
- Coates, W. et R. Ayerza. 1998. Commercial production of chia in Northwestern Argentina. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 75(10): 1417-1420.
- Chia de France. 2017. Chia de France: Une source végétale abondante et renouvelable d'Oméga 3. <https://www.chiadeFrance.org/actu-lancement-filiere-chia-france>.
- Gleeson, T, B. Agbenyegah, B. Deards, R. Leith, C. Mifsud, D. Mobsby, C. Murray. 2014aa. *Appendix 4.1 of the Northern Australia: Food and Fibre Supply Chain Study Project Report - Northern Australia food and fibre supply chains – commodity market analysis*. Australian Bureau of Agricultural and Resource Economics and Sciences (ABARES), 136 pages.
- Gombos, A. Communication personnelle, janvier 2018.

- Hildebrand, D., W. Jamboonsri et T. Phillips. 2013. Early flowering chia and uses thereof. United States Patent Application Publication US 2013/0007909 A1. 8p. United States Patent and Trademark Office's, Washington D.C., USA.
- Ixtaina, V. Y., S. M. Nolasco et M. C. Tomas. 2008. Physical properties of chia (*Salvia hispanica* L.) seeds. Industrial crops and products, 1-8.
- Jamboonsri, W. 2010. Improvement of new oil crops for Kentucky. Thèse de doctorat, Université du Kentucky, KY, É-U, papier 120.
- Jamboonsri, W., T. D. Phillips, R. L. Geneve, J. P. Cahill et D. F. Hildebrand. 2012. Extending the range of an ancient crop, *Salvia hispanica* L.- a new ω 3 source. Genetic Resources and Crop Evolution, 59(2) : 171-178.
- Kraiser, C., M. Ernst. 2016. Chia. University of Kentucky ; College of Agriculture, Food and Environment. Center for Crop Diversification Profile. 1-3
- Kummer, C. Communication personnelle, janvier 2018.
- Littell, Ramon C., Milliken, George A., Stroup, Walter W., and Wolfinger, Russel D., Schabenberger, Oliver (2006). SAS[®] for Mixed Models, Second Edition. Cary, NC : SAS Institute Inc., 2006.
- North Australian Agribusiness Management (NAAM). 2016. *Douglas Daly Agricultural Zone Economic Analysis*. NAAM, 33 pages.
- Philips, T. Communication personnelle, décembre 2017
- Sosa, A., G. Ruiz, J. Rana, G. Gordillo, H. West, M. Sharma, R.R. Robles. 2016. Chia Crop (*Salvia hispanica* L.): its History and Importance as a Source of Polyunsaturated Fatty Acids Omega-3 Around the World: a Review. *J Crop Res Fert*, 1, 1-9.
- Mohd Ali, N., S. K. Yeap, W.Y. Ho, B.K. Beh, S.W. Tan et S.G. Tan. 2012. The promising future of chia, *Salvia hispanica* L. BioMed Research International, 2012 : 1-6
- SAS/STAT, version 9.4 de SAS System pour Windows 7 x64. Copyright 2002-2012 SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.
- Thibault, M.-T. Communication personnelle, janvier 2018.

ANNEXE A – RÉSULTATS DES TESTS DE TYPE III DES EFFETS FICHES

Pourcentage de plants porteurs d'altises à tête rouge en 2017

2017				
Tests de type III des effets fixes				
Effet	DDL Num,	DLL den,	Valeur F	Pr > F
date_semis	2	27	48,88	<,0001
Taux_semis	2	1	0,34	0,7719
date_semis*Taux_semis	4	1	2,1	0,4719

(Les résultats sont significativement différents au seuil de $P < 0,05$)

Biomasse des mauvaises herbes selon la date et le taux de semis en 2016 et 2017

2016				
Tests de type III des effets fixes				
Effet	DDL Num,	DLL den,	Valeur F	Pr > F
date_semis	2	6	1,81	0,2419
Taux_semis	2	18	5,55	0,0133
date_semis*Taux_semis	4	18	6,23	0,0025
2017				
Tests de type III des effets fixes				
Effet	DDL Num,	DLL den,	Valeur F	Pr > F
date_semis	2	14,3	2,86	0,0905
Taux_semis	2	9,22	0,41	0,678
date_semis*Taux_semis	4	15,4	0,58	0,6792

(Les résultats sont significativement différents au seuil de $P < 0,05$)

Biomasse sèche des plants à la récolte (t/ha) en 2016 et 2017

2016				
Tests de type III des effets fixes				
Effet	DDL Num,	DLL den,	Valeur F	Pr > F
date_semis	2	6	0,71	0,5282
Taux_semis	2	18	0,61	0,5544
date_semis*Taux_semis	4	18	0,26	0,8968
2017				

Tests de type III des effets fixes				
Effet	DDL Num,	DLL den,	Valeur F	Pr > F
date_semis	2	9	0,86	0,4552
Taux_semis	2	18	0,68	0,5189
date_semis*Taux_semis	4	18	0,76	0,5653

(Les résultats sont significativement différents au seuil de $P < 0,05$)

Hauteur des plants à la récolte en 2016 et 2017

2016				
Tests de type III des effets fixes				
Effet	DDL Num.	DLL den.	Valeur F	Pr > F
date_semis	2	6	0,36	0,7139
Taux_semis	2	18	0,47	0,6351
date_semis*Taux_semis	4	18	1,05	0,4082
2017				
Tests de type III des effets fixes				
Effet	DDL Num,	DLL den,	Valeur F	Pr > F
date_semis	2	9	5,81	0,024
Taux_semis	2	18	1,04	0,3727
date_semis*Taux_semis	4	18	2,39	0,0894

(Les résultats sont significativement différents au seuil de $P < 0,05$)

Densité (plants/ha) à la récolte en 2016 et 2017

2016				
Tests de type III des effets fixes				
Effet	DDL Num,	DLL den,	Valeur F	Pr > F
date_semis	2	6	2,56	0,1568
Taux_semis	2	18	4,53	0,0256
date_semis*Taux_semis	4	18	0,8	0,541
2017				
Tests de type III des effets fixes				
Effet	DDL Num.	DLL den.	Valeur F	Pr > F
date_semis	2	5.49	47.50	0.0003
Taux_semis	2	9.01	36.03	<.0001
date_semis*Taux_semis	4	9.85	10.18	0.0016

(Les résultats sont significativement différents au seuil de $P < 0,05$)

Rendement à l'hectare de graines matures à la récolte mécanique en 2016 et 2017

2016				
Tests de type III des effets fixes				
Effet	DDL Num,	DLL den,	Valeur F	Pr > F
date_semis	2	9	1,38	0,3008
Taux_semis	2	18	0,33	0,7246
date_semis*Taux_semis	4	18	1,73	0,1864
2017				
Tests de type III des effets fixes				
Effet	DDL Num,	DLL den,	Valeur F	Pr > F
date_semis	2	9	1,54	0,2663
Taux_semis	2	18	3,23	0,0632
date_semis*Taux_semis	4	18	0,21	0,9285

(Les résultats sont significativement différents au seuil de $P < 0,05$)

Perte de rendement en graines matures à l'hectare causé par l'égrenage sur pied en 2016

2016				
Tests de type III des effets fixes				
Effet	DDL Num,	DLL den,	Valeur F	Pr > F
date_semis	2	6	4,02	0,0781
Taux_semis	2	18	2,25	0,1337
date_semis*Taux_semis	4	18	1,01	0,4261

(Les résultats sont significativement différents au seuil de $P < 0,05$)

Rendement en graines matures selon le mode de récolte en 2016 et 2017

2016				
Tests de type III des effets fixes				
Effet	DDL Num,	DLL den,	Valeur F	Pr > F
date_semis	2	9	0,88	0,4462
Taux_semis	2	18	0,02	0,9771
date_semis*Taux_semis	4	18	1,28	0,3138
type_récolte	1	27	11,08	0,0025
date_semis*type_récolte	2	27	0,49	0,6176
Taux_semi*type_récolte	2	27	1,67	0,208
date_semis*Taux_semis*type_récolte	4	27	0,42	0,7917
2017				
Tests de type III des effets fixes				
Effet	DDL Num,	DLL den,	Valeur F	Pr > F
date_semis	2	6	0,56	0,5996
Taux_semis	2	18	2,56	0,1051
date_semis*Taux_semis	4	18	0,56	0,6975
type_récolte	1	27	0,01	0,9069
date_semis*type_récolte	2	27	1,94	0,163
Taux_semi*type_récolte	2	27	0,38	0,6847
date_semis*Taux_semis*type_récolte	4	27	0,43	0,7843

(Les résultats sont significativement différents au seuil de $P < 0,05$)