



INSTITUT DE RECHERCHE
ET DE DÉVELOPPEMENT
EN AGROENVIRONNEMENT
EN АГРОЭКОЛОГИИ
И РАЗВИТИИ
И В АГРОЭКОЛОГИИ
И РАЗВИТИИ

RAPPORT FINAL - NO PROJET : IA214192

ÉVALUATION DE TECHNIQUES DE PRODUCTION PERMETTANT L'IMPLANTATION DES CITROUILLES À GRAINES SANS TÉGUMENT PAR LE SEMIS



Responsable scientifique : Josée Boisclair, agr., entomologiste, M.P.M., IRDA

Collaborateur: Luc Belzile, agr., économiste, M.Sc., IRDA

Date : 21 novembre 2016

Projet IRDA # : IA214192

Section 1 - Chercheurs impliqués et responsable autorisé de l'établissement (ces personnes doivent également faire parvenir un courriel pour attester qu'ils ont lu et approuvent le rapport.)

CHERCHEURS IMPLIQUÉS :

Josée Boisclair, agr., entomologiste, M.P.M., IRDA

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

RESPONSABLE AUTORISÉ DE L'ÉTABLISSEMENT

Stéphane P. Lemay, ing., P.Eng., agr., Ph.D., IRDA

Direction de la recherche et du développement

Section 2 – Partenaires

Isabelle Couture, agr., M.Sc., Conseillère en production maraîchère, MAPAQ - Direction régionale de la Montérégie, secteur Est

Gérard Gilbert, agr., phytopathologiste, MAPAQ - Laboratoire de diagnostic en phytoprotection

Michèle Grenier, biostatisticienne, IRDA

Alicia Patry, agr., attaché de recherche, IRDA

Geneviève Richard, agr. M.Sc., professionnelle de recherche, IRDA (n'est plus à l'emploi de l'IRDA depuis le 15 juillet 2016)

Section 3 – Semer ou transplanter des citrouilles à graines sans écale : considérations agronomiques et économiques

Josée Boisclair, Geneviève Richard, Luc Belzile et Michèle Grenier

No de projet : IA214192

Durée : 04/2014 – 11/2016

FAITS SAILLANTS

La citrouille à graines sans tégument est cultivée depuis plus de cinq décennies en Europe orientale. Depuis 2009, des travaux menés par l'IRDA à la Plateforme d'innovation en agriculture biologique ont démontré qu'il est possible d'obtenir de bons rendements en graines avec ce type de citrouilles, mais uniquement lorsque des transplants sont utilisés. En effet, les semences sont très sensibles à la fonte des semis. Afin de résoudre ce frein agronomique pour l'adoption de cette culture sur de grandes surfaces, des traitements de semences doivent être proposés pour favoriser une meilleure levée. Parmi les traitements testés en chambre de croissance, l'enrobage des semences de citrouilles var. Styriaca avec le Copper Spray® (oxychlorure de cuivre) et la prégermination ont été les deux alternatives les plus efficaces pour protéger les semences sans tégument des pathogènes du sol et favoriser une meilleure levée des plantules. La comparaison de ces deux traitements et de l'utilisation de transplants en conditions de champ a conclu en des rendements significativement supérieurs avec les transplants. De plus, à l'instar des semis, la transplantation a permis l'atteinte de rendements comparables aux rendements obtenus dans les zones productrices de graines de citrouille en Europe. L'analyse économique indique que la production biologique de graines de citrouille présente un potentiel au Québec, et ce plus spécifiquement à partir de transplants. Un modèle d'intégration comme celui bien établi dans le secteur de la transformation des fruits et légumes serait une solution à privilégier pour le développement de cette production au Québec. Ce modèle permettrait une meilleure gestion du risque pour le producteur, en réduisant ses coûts fixes, et à l'acheteur en lui assurant un approvisionnement régulier du fait que plusieurs producteurs seraient incités à produire. Cependant, pour que ce modèle fonctionne tous les acteurs de la chaîne doivent convenir des détails de ce modèle.

OBJECTIFS ET MÉTHODOLOGIE

Dans un premier temps, les objectifs étaient d'évaluer, en chambre de croissance et en champ, l'efficacité et la phytotoxicité de traitements de semences pour une variété de citrouille à graines sans tégument (var. Styriaca) : l'oxychlorure de cuivre et le conditionnement de semences combiné ou non à des biofongicides. La prégermination combinée ou non à des biofongicides a aussi été évaluée. Le pourcentage de germination et la biomasse sèche ont été utilisés comme paramètres pour évaluer l'efficacité des traitements testés. Une expérimentation en champ a permis la comparaison entre l'utilisation de l'oxychlorure de cuivre, de la prégermination et de la transplantation concernant l'incidence du flétrissement bactérien, l'activité de la chrysomèle rayée du concombre et les rendements en fruits et en graines. Les résultats ont été compilés afin de réaliser une analyse économique permettant de mieux connaître les perspectives de rentabilité associées au semis et à la transplantation.

RÉSULTATS SIGNIFICATIFS POUR L'INDUSTRIE

L'utilisation des transplants de citrouilles à graines sans écale (var. Styriaca) s'est avérée l'option offrant les rendements les plus intéressants comparativement au semis de semences enrobées avec de l'oxychlorure

de cuivre et au semis de semences prégermées. En effet, le tableau 1 montre que le nombre de citrouilles (nbre/m²), leur poids (kg/ha) et le rendement en graines ont été significativement plus élevés pour ce mode d'implantation.

Les principaux résultats de l'analyse économique sont présentés au tableau 2. On constate que les scénarios de production présentant la meilleure faisabilité en regard du produit importé sont ceux des transplants et des semences prégermées. En effet, ces deux scénarios présentent des prix cibles après production et conditionnement des graines de citrouille biologique de 6,55 et 7,63 \$/kg respectivement. En 2013, le coût d'importation était de 6,00 \$/kg pour le produit provenant de la Chine et 10,00 \$/kg pour le produit européen. Dans le contexte où les variétés mises à l'essai seraient en concurrence avec le produit européen, la production québécoise semblerait concurrentielle avec les graines de citrouille biologique européenne.

APPLICATIONS POSSIBLES POUR L'INDUSTRIE ET/OU SUIVI À DONNER

La principale application possible pour l'industrie et le suivi à donner serait que tous les intervenants de la chaîne de valeur conviennent d'un modèle de développement de la nouvelle production que constitue la citrouille biologique produite pour les graines au Québec. En raison des coûts fixes relativement élevés des équipements de récolte et de conditionnement, il est proposé que ce modèle suive celui des fruits et légumes de transformation. Dans ce modèle, les opérations de récolte et de conditionnement sont prises en charge par l'acheteur, qui accomplit lui-même ces opérations ou les sous-contracte. Toutefois, il faut que cette initiative soit coordonnée par une organisation qui pourra rassembler toutes les parties intéressées. Il existe une table filière dans le secteur des fruits et légumes de transformation et cette organisation pourrait possiblement coordonner l'initiative pour voir au développement de la production de citrouille biologique pour les graines au Québec.

Tableau 1. Rendement en fruits et en graines de citrouille à graines sans tégument (var. Styriaca) semées et transplantées, Saint-Bruno-de-Montarville, 2015.

Traitements	Rendement				
	Citrouilles commercialisables	Citrouilles non commercialisables	Rendement en citrouilles commercialisables	Poids moyen des citrouilles commercialisables	Rendement en graines commercialisables
	nb/m ²	nb/m ²	kg/ha	g/citrouille	kg/ha
Transplants	1,40 (0,14)	0,16 (0,06)	59 548 (6 700)	4 260 (239)	1 062 (88)
OCC	0,32 (0,14)	0,07 (0,06)	18 250 (6 700)	5 561 (438)	234 (88)
Prégermées	0,75 (0,14)	0,21 (0,06)	35 046 (6 700)	4 727 (289)	574 (88)
ANOVA (Pr > F)	0,0022	0,1311	0,0063	0,0839	0,0007
Contraste (Pr > t)					

Transplants vs OCC	0,0007	0,3129	0,0022	0,001	0,0002
Transplants vs prégermées	0,009	0,6059	0,023	<0,0001	0,0039
OCC vs prégermées	0,046	0,1433	0,0829	<0,0001	0,0194

Tableau 1. Résultats économiques - Production de graines de citrouille

Parcelles	Transplants	Semences enrobées avec OCC	Semences prégermées
Rendements en graines sèches (kg/ha)	1 062	234	574
Total des coûts variables (\$/ha)	5 072	2 592	2 789
<i>Sous-total – approvisionnements</i>	<i>4 097</i>	<i>2 043</i>	<i>2 179</i>
<i>Sous-total – opérations culturales</i>	<i>924</i>	<i>498</i>	<i>559</i>
<i>Sous-total – autres coûts</i>	<i>51</i>	<i>51</i>	<i>51</i>
Prix cibles (\$/kg) après production	5,94	16,37	7,02
Conditionnement	0,61		
Prix cible après production et conditionnement	6,55	16,98	7,63

POINT DE CONTACT POUR INFORMATION

Nom du responsable du projet : Josée Boisclair

Téléphone : 450-653-7368 poste 330

Télécopieur : 450-653-1927

Courriel : josee.boisclair@irda.qc.ca

REMERCIEMENTS AUX PARTENAIRES FINANCIERS

Ces travaux ont été réalisés grâce à une aide financière du Programme de soutien à l'innovation en agroalimentaire, un programme issu de l'accord du cadre Cultivons l'avenir conclu entre le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation et Agriculture et Agroalimentaire Canada.

Section 4 - Activité de transfert et de diffusion scientifique (joindre en annexe la documentation en appui)

2016

Boisclair J., G. Richard, M. Grenier et L. Belzile. 2016. Evaluation of seed treatments in hullless pumpkin seed production. 2e Conférence scientifique canadienne en agriculture biologique, Montréal-Longueuil, 19-21 septembre, p. 111. (Affiche scientifique et résumé, documents joints au rapport final)

<https://www.dal.ca/content/dam/dalhousie/images/faculty/agriculture/oacc/en/cosc/oacc-cosc2-2016.jpg>

Section 5 - Activités de diffusion et de transfert aux utilisateurs (joindre en annexe la documentation en appui)

2015

Richard, G., J. Boisclair, M. Leblanc et L. Belzile. 2015. Cultiver des citrouilles à graines sans écale et le défi du semis. Journées horticoles Saint-Rémi – Session Horticulture biologique, 1er décembre.

<https://www.agrireseau.net/documents/91235/cultiver-des-citrouilles-a-graines-sans-ecale-et-le-defi-du-semis%E2%80%A6?r=citrouilles>

Richard G. et J. Boisclair. 2015. Évaluation de techniques de production permettant l'implantation des citrouilles à graines sans tégument par le semis. Fiche synthèse, IRDA, 2 p.

https://www.irda.qc.ca/assets/documents/Publications/documents/richard-et-al_citrouille_resume_ft901111fa_web.pdf

Richard G. et J. Boisclair. 2015 Évaluation de techniques de production permettant l'implantation des citrouilles à graines sans tégument par le semis. Le Tour des cucurbitacées. Projet en cours sur les cucurbitacées à la Plateforme d'innovation en agriculture biologique. Présentation et visite des parcelles. Saint-Bruno-de-Montarville, septembre. (voir document joint au rapport final)

2014

Boisclair, J. 2014. L'IRDA en action: mélange de plantes à fleurs, traitement de semences et efficacité de différents traitements de conditionnement de semences, etc. Journées horticoles de Saint-Rémi, 4 décembre.

http://www.mapag.gouv.qc.ca/SiteCollectionDocuments/Regions/Monteregie-Ouest/Journees_horticoles_2014/4_decembre/Lutte_integree/13h30_h_IRDA_JBoisclair.pdf

Section 6 – Grille de transfert des connaissances

1. Résultats	2. Utilisateurs	3. Message	4. Cheminement des connaissances
Présentez les faits saillants (maximum de 3) des principaux résultats de votre projet.	Pour les résultats identifiés, ciblez les utilisateurs qui bénéficieront des connaissances ou des produits provenant de votre recherche.	Concrètement, quel est le message qui devrait être retenu pour chacune des catégories d'utilisateurs identifiées? Présentez un message concret et vulgarisé. Quels sont les gains possibles en productivité, en rendement, en argent, etc.?	a) Une fois le projet terminé, outre les publications scientifiques, quelles sont les activités de transfert les mieux adaptées aux utilisateurs ciblés? (conférences, publications écrites, journées thématiques, formation, etc.) b) Selon vous, quelles pourraient être les étapes à privilégier en vue de maximiser l'adoption des résultats par les utilisateurs.
Rendements en graines de citrouilles à partir de transplants de citrouilles var. Styriaca comparables à des régions productrices en Europe	Conseillers agricoles Producteurs biologiques	Gains possibles pour le secteur des grandes cultures biologiques afin de diversifier leur revenu et de minimiser les risques Gains possibles pour augmenter leur revenu, minimiser les risques et diversifier leur rotation.	a) Mise en ligne d'une fiche synthèse b) Mise en place d'un site de démonstration de plus grande superficie qui soit plus près de la réalité des producteurs
Prix cible des scénarios de production en transplantation et en prégermination qui présente une faisabilité en regard du produit importé européen	Toute la filière des fruits et légumes de transformation	Il y a des possibilités de développement de la production de graines de citrouille biologique au Québec pourvu qu'il y ait une coordination pour emmener tous les acteurs du milieu à contribuer à ce développement	Les connaissances économiques acquises dans ce projet offrent des perspectives de faisabilité et de rentabilité pour tous les membres de la filière des fruits et légumes de transformation.

Section 7 - Contribution et participation de l'industrie réalisées

L'IRDA a contribué à la réalisation des travaux mentionnés dans ce rapport final par l'implication de ses employés (chercheur, professionnelle de recherche, biostatisticienne, agroéconomiste, techniciens, ouvriers et étudiants), par la disponibilité de ses équipements et machineries agricoles, de même que par les superficies de champ allouées aux parcelles de recherche, sur la Plateforme d'innovation en agriculture biologique à Saint-Bruno-de-Montarville.

La compagnie Loveland Products Canada Inc. a démontré un intérêt pour l'homologation d'emploi mineur du Copper Spray® (oxychlorure de cuivre) comme traitement de semences. Andreja Preradov, responsable des Affaires réglementaires à la compagnie Loveland Products Canada Inc., a fourni le Copper Spray ainsi que des informations techniques pour permettre d'appliquer le produit convenablement.

Serge Gagnon, représentant technique de la compagnie Plants Products Inc., a partagé des informations techniques pour définir le choix des produits à évaluer et les doses appliquées. Il a aussi fourni les biofongicides utilisés dans le cadre de ce projet.

César Chlela, de la compagnie Agrocentre-Fertibec inc. Seminova était en contact avec Chris L. Petersen, Président et directeur de la compagnie Kamterter Products, L.L.C., pour le conditionnement des semences.

La compagnie Dubois Agrinovation nous a octroyé un rabais sur le prix de vente des filets anti-insectes.

Section 8 - Rapport scientifique et/ou technique (format libre réalisé selon les normes propres au domaine d'étude)

**ÉVALUATION DE TECHNIQUES DE PRODUCTION PERMETTANT
L'IMPLANTATION DES CITROUILLES À GRAINES SANS TÉGUMENT PAR LE SEMIS**

Josée Boisclair, Geneviève Richard, Luc Belzile et Michèle Grenier

TABLE DES MATIÈRES

1. PROBLÉMATIQUE	1
2. OBJECTIFS	1
3. PHASE 1 – ÉVALUATION DE DIFFÉRENTS TRAITEMENTS DE SEMENCES EN CHAMBRE DE CROISSANCE ET EN CHAMP	1
3.1 Évaluation du Copper Spray® (oxychlorure de cuivre) en chambre de croissance	3
3.1.1 Phytotoxicité de l'oxychlorure de cuivre	3
3.1.1.1 Méthodologie	3
3.1.1.2 Résultats	3
3.1.2 Efficacité de l'oxychlorure de cuivre en chambre de croissance	5
3.1.2.1 Méthodologie	5
3.1.2.2 Résultats	5
3.2 Efficacité de l'oxychlorure de cuivre au champ	7
3.2.1 Méthodologie	7
Les variables évaluées étaient le pourcentage de germination et la biomasse sèche des plantules après que les plantules aient atteint le stade de deux feuilles.	7
3.2.2 Résultats	7
3.3 Évaluation du conditionnement et de l'enrobage des semences avec des biofongicides composés de micro-organismes en chambre de croissance	10
3.3.1 Phytotoxicité du conditionnement des semences et de l'application de biofongicides en enrobage des semences	10
3.3.1.1 Méthodologie	10
3.3.1.2 Résultats	10
3.3.2 Efficacité du conditionnement des semences et de l'application de biofongicides en enrobage des semences	12
3.3.2.1 Méthodologie	12
3.3.2.2 Résultats	12
3.4 Évaluation de l'efficacité de la prégermination et de l'enrobage des semences avec des biofongicides composés de micro-organismes, en chambre de croissance	14
3.4.1 Méthodologie	14
3.4.2 Résultats	14
3.5 Sommaire des résultats de la Phase 1 du projet	16
4. PHASE 2 – COMPARAISON DE L'UTILISATION DE L'OXYCHLORURE DE CUIVRE, LA PRÉGERMINATION ET L'UTILISATION DE TRANSPLANTS	16
4.1. Méthodologie	17
4.1.1 Dispositif expérimental	17
4.1.2 Prise de données	17
4.1.3 Récolte et évaluation du rendement	18

4.2 Résultats	18
4.2.1. Évaluation de la mortalité des plantules	18
4.2.2. Chronologie des stades phénologiques.....	19
4.2.3. Suivi et impact de la chrysomèle rayée du concombre.....	20
4.2.4. Incidence et impact du flétrissement bactérien.....	21
4.2.5. Rendement commercialisable en fruits et en graines.....	22
5. ANALYSE ÉCONOMIQUE	25
5.1 Contexte	25
5.2 Méthode	25
5.2.1 Prix cible.....	25
5.2.2 Coûts variables.....	26
5.2.2.1 Approvisionnements	27
5.2.2.2 Opérations culturales	27
5.2.2.3 Frais de mise en marché et autres coûts.....	28
5.3 Résultats	28
5.3.1 Production de graines.....	28
5.3.2 Production de fruits	30
5.4 Discussion	30
6. CONCLUSION	32
7. RÉFÉRENCES.....	32
8. REMERCIEMENTS.....	33
ANNEXE 1 - BUDGET DE PRODUCTION DE GRAINES	34
ANNEXE 2 - BUDGET DE PRODUCTION DE FRUITS	36

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Nombre moyen de CRC par plant (avant la floraison) et par fleur (après le début de la floraison pour plus de 50 % des plants) selon trois modes d'implantation : la transplantation, les semences enrobées avec OCC et les semences prégermées, Saint-Bruno-de-Montarville, 2015.20

Figure 2. Évolution de l'indice moyen de défoliation au cours du temps selon les trois modes d'implantation : la transplantation, les semences enrobées avec OCC et les semences prégermées, Saint-Bruno-de-Montarville, 2015. 21

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Description des expérimentations de la Phase 1 - Évaluation de différents traitements de semences en chambre de croissance et en champ. 2

Tableau 2. Effet phytotoxique de cinq doses de Copper Spray® (oxychlorure de cuivre), appliqué en enrobage des semences avec du Surround® WP (kaolin), sur la germination de citrouilles semées en chambre de croissance, 2014. 4

Tableau 3. Effet phytotoxique de cinq doses de Copper Spray® (oxychlorure de cuivre), appliqué en enrobage des semences avec du Surround® WP (kaolin), sur la biomasse sèche de plantules de citrouilles semées en chambre de croissance, 2014. 4

Tableau 4. Efficacité de cinq doses de Copper Spray® (oxychlorure de cuivre), appliqué en enrobage des semences avec du Surround® WP (kaolin), sur la germination de citrouilles semées en chambre de croissance, 2014. 6

Tableau 5. Efficacité de cinq doses de Copper Spray® (oxychlorure de cuivre), appliqué en enrobage des semences avec du Surround® WP (kaolin), sur la biomasse sèche de plantules de citrouilles semées en chambre de croissance, 2014. 7

Tableau 6. Efficacité de cinq doses de Copper Spray® (oxychlorure de cuivre), appliqué en enrobage des semences avec du Surround® WP (kaolin), sur la germination de citrouilles semées au champ, Saint-Bruno-de-Montarville, 2014. 8

Tableau 7. Efficacité de cinq doses de Copper Spray® (oxychlorure de cuivre), appliqué en enrobage des semences avec du Surround® WP (kaolin), sur la biomasse sèche de plantules de citrouilles semées au champ, Saint-Bruno-de-Montarville, 2014. 9

Tableau 8. Efficacité de cinq doses de Copper Spray® (oxychlorure de cuivre), appliqué en enrobage des semences avec du Surround® WP (kaolin), sur la germination de citrouilles semées au champ, Saint-Bruno-de-Montarville, 2015. 9

Tableau 9. Efficacité de cinq doses de Copper Spray® (oxychlorure de cuivre), appliqué en enrobage des semences avec du Surround® WP (kaolin), sur la biomasse sèche de plantules de citrouilles semées au champ, Saint-Bruno-de-Montarville, 2015.	10
Tableau 10. Effet phytotoxique d'un traitement de conditionnement des semences, combiné à l'utilisation de différents biofongicides, sur la germination de citrouilles semées en chambre de croissance, 2014.	11
Tableau 11. Effet phytotoxique d'un traitement de conditionnement des semences, combiné à l'utilisation de différents biofongicides, sur la biomasse sèche de plantules de citrouilles semées en chambre de croissance, 2014.	12
Tableau 12. Efficacité d'un traitement de conditionnement des semences, combiné à l'utilisation de différents biofongicides, sur la germination de citrouilles semées en chambre de croissance, 2014.	13
Tableau 13. Efficacité d'un traitement de conditionnement des semences, combiné à l'utilisation de différents biofongicides, sur la biomasse sèche de plantules de citrouilles semées en chambre de croissance, 2014.	13
Tableau 14. Efficacité d'un traitement de prégermination des semences combiné à l'utilisation de biofongicides sur la germination de citrouilles semées en chambre de croissance, 2014.	15
Tableau 15. Efficacité d'un traitement de prégermination des semences combiné à l'utilisation de biofongicides sur la biomasse sèche de plantules de citrouilles semées en chambre de croissance, 2014.	15
Tableau 16. Sommaire des résultats des tests d'efficacité effectués en chambre de croissance et en champ, 2014 et 2015.	16
Tableau 17. Pourcentage de mortalité des plantules de citrouilles résultant de la transplantation et du semis de citrouille Styriaca, Saint-Bruno-de-Montarville, 2015.	19
Tableau 18. Chronologie des stades phénologiques atteints par 50 % des plants, Saint-Bruno-de-Montarville, 2015.	20
Tableau 19. Date d'apparition du flétrissement bactérien FB et analyse du pourcentage de plant par cote d'incidence du FB, Saint-Bruno-de-Montarville, 2015.	22
Tableau 20. Rendement en fruits et en graines, Saint-Bruno-de-Montarville, 2015.	24
Tableau 21. MBCV référence.	26

Tableau 22. Résultats économiques - Production de graines de citrouille	28
Tableau 23. Coûts de récolte-égrenage et de conditionnement des graines de citrouille biologiques.	29
Tableau 24. Résultats économiques - Production de fruits.	30

1. PROBLÉMATIQUE

La culture de la citrouille à graines sans tégument présente un fort potentiel pour la diversification des fermes biologiques québécoises. Présentement, les graines de citrouille écalées sont importées, mais il existe un intérêt des distributeurs, épiciers et producteurs, pour un approvisionnement local. Des projets réalisés par l'IRDA ont démontré qu'il est possible d'obtenir au Québec, à partir de transplants, des rendements comparables à ceux de l'Europe de l'Ouest, où cette production est bien connue depuis plusieurs décennies. Des budgets de production ont mis en évidence le potentiel économique de cette culture sous nos conditions. Afin de favoriser l'adoption de cette culture par les producteurs de grandes cultures, de développer l'approvisionnement pour le marché québécois de même que l'apparition de produits à valeur ajoutée, l'implantation par le semis doit être améliorée. En effet, l'absence de tégument rend la semence très vulnérable aux attaques des bioagresseurs du sol, dont notamment les agents pathogènes responsables de la fonte des semis.

2. OBJECTIFS

Le projet consistait dans un premier temps à évaluer, en chambre de croissance, trois techniques de semis de citrouilles à graines sans tégument de la variété autrichienne, *Styriaca* (*Cucurbita pepo* var. *styriaca*), pour lutter contre la fonte des semis (phase 1). Ces techniques, potentiellement autorisables en agriculture biologique, étaient : (1) l'enrobage des semences avec un fongicide, le Copper Spray® (oxychlorure de cuivre), (2) le conditionnement des semences seul ou en combinaison avec un enrobage avec des biofongicides composés de micro-organismes et (3) la prégermination seule ou en combinaison avec l'utilisation de biofongicides composés de micro-organismes, appliqués en trempage pendant le processus de prégermination. La technique d'enrobage des semences avec l'oxychlorure de cuivre a aussi été évaluée au champ, lors d'essais répétés sur deux ans.

Les techniques de semis les plus efficaces pour lutter contre la fonte des semis en chambre de croissance ont par la suite été comparées à l'utilisation de transplants, lors d'un essai réalisé au champ (Phase 2). Une analyse économique a aussi été effectuée pour chacun des traitements évalués dans le cadre de ces travaux.

3. PHASE 1 – ÉVALUATION DE DIFFÉRENTS TRAITEMENTS DE SEMENCES EN CHAMBRE DE CROISSANCE ET EN CHAMP

Dans cette première phase, l'efficacité de différents traitements de semences a été évaluée. Des tests de phytotoxicité ont également été effectués pour tous les traitements de semences à l'exception du conditionnement des semences et de l'application de biofongicides en enrobage des semences. Ces tests ont permis de valider la pertinence de tester les différents traitements de semences en démontrant qu'ils n'avaient pas d'impact sur les semences de citrouilles sans tégument. Du même coup, ils permettent de confirmer que les traitements de semences ayant démontré peu ou aucune efficacité ne s'explique pas un effet phytotoxique sur les semences et/ou sur le processus de germination. Le Tableau 1 dresse un portrait des expérimentations qui ont été effectuées dans cette phase.

Tableau 1. Description des expérimentations de la Phase 1 - Évaluation de différents traitements de semences en chambre de croissance et en champ.

EXPÉRIMENTATIONS EN CHAMBRE DE CROISSANCE 2014 et 2015		EXPÉRIMENTATIONS EN CHAMP 2014 et 2015
Tests d'efficacité et de phytotoxicité		Oxychlorure de cuivre (Copper Spray®) ¹
Oxychlorure de cuivre (Copper Spray®) ¹	Conditionnement avec et sans enrobage avec biofongicides ²	
Test d'efficacité		
Prégermination avec et sans biofongicides ²		
Variables mesurées : date et pourcentage de germination, stade phénologique, biomasse fraîche et biomasse sèche des plantules		

¹ Traitements : 50 % dose minimale, dose minimale, dose maximale, 2x dose minimale, 2x dose maximale, témoin (eau et kaolin), témoin (eau seulement), semences non traitées, semences non traitées semées dans un terreau.

² Biofongicides testés : Actinovate® (*Streptomyces lydicus*), Serenade® Max (*Bacillus subtilis*), Mycostop® (*Streptomyces griseoviridis*) et Rootshield® (*Trichoderma harzianum*).

Le dispositif expérimental des essais réalisés en chambre de croissance et au champ dans cette première phase était composé de quatre blocs aléatoires complets. Les unités expérimentales contenaient de 25 à 36 plantules. Les variables évaluées lors des essais en chambre de croissance étaient le pourcentage de germination et la biomasse sèche des plantules deux semaines après le semis en cabaret multicellulaires. Les variables mesurées en champ étaient les mêmes à l'exception que la biomasse sèche des plantules a été évaluée après que les plantules aient atteint le stade de deux feuilles.

Les analyses statistiques ont été réalisées en utilisant un modèle qui tient compte de l'effet fixe des traitements et de l'effet aléatoire des blocs. Pour l'analyse de variance, le test de F a été appliqué afin de déterminer la significativité globale de l'effet des traitements. Dans les cas où le test de F suggérait un effet significatif des traitements, tous les traitements ont été comparés entre eux, en examinant leurs moyennes prises deux à deux et en appliquant le test de t pour déterminer quelles différences étaient significatives. Les rapports de cotes ont été utilisés pour comparer les traitements lorsque la variable réponse analysée était un pourcentage ou une catégorie et qu'un modèle linéaire généralisé avait été ajusté aux données.

Dans certains essais, les pourcentages de germination observés pour certains traitements ont été nuls. C'est pourquoi, dans ces cas, le nombre d'observations a été réduit par rapport au nombre d'unités expérimentales au départ de l'essai.

La méthodologie spécifique à chaque traitement de semences est présentée de même que les résultats pour les tests d'efficacité et de phytotoxicité en termes de pourcentage de germination et de biomasse sèche.

3.1 Évaluation du Copper Spray® (oxychlorure de cuivre) en chambre de croissance

3.1.1 Phytotoxicité de l'oxychlorure de cuivre

3.1.1.1 Méthodologie

Le Copper Spray® est un fongicide qui contient 50 % de cuivre sous forme d'oxychlorure. Pour évaluer la phytotoxicité du Copper Spray® appliqué en enrobage des semences, cinq doses d'application ont été testées. Ces doses ont été déterminées en fonction de celles utilisées en Autriche pour le fongicide Cuprofor® flussig (50 % de cuivre). Ce fongicide est utilisé pour protéger les semences de citrouilles à graines sans tégument contre les agents pathogènes qui causent la fonte des semis. Il est habituellement appliqué à des doses allant de 500 g à 750 g/100 kg de semences. Ainsi, les doses de Copper Spray® évaluées dans le cadre de ce projet ont été : (1) 50 % dose minimale (250 g/100 kg de graines), (2) dose minimale (500 g/ 100 kg de graines), (3) dose maximale (750 g/ 100 kg de graines), (4) 2 fois la dose minimale (1 000 g/100 kg de graines) et (5) 2 fois la dose maximale (1 500 g/100 kg de graines). Comme effectué en Autriche, de l'argile a été ajoutée au mélange d'oxychlorure de cuivre et de semences, pour séparer les semences les unes des autres et ainsi faciliter leur manipulation. Dans le cadre de cette expérimentation, une formulation d'argile, le Surround® WP (kaolin), a été ajoutée, à raison de 1 g/ 36 g de semences. Le kaolin, utilisé seul, a aussi été évalué comme traitement témoin dans tous les essais réalisés avec l'oxychlorure de cuivre. Les semences ont été semées en multicellules, dans du sol de champ stérilisé à l'autoclave à vapeur (période de 55 minutes, température de 121 °C, pression de 15 PSI) pour en éliminer les agents pathogènes. Les semis ont ensuite été placés en chambre de croissance, pour une période de deux semaines (photopériode de 18L:6N, température de 23 °C, humidité relative de 55 %). Certains témoins non traités ont été semés dans du sol de champ stérilisé, alors que d'autres ont été semés dans du terreau d'empotage et de semis commercial biologique AGRO MIX®02. Ce type de substrat est composé d'ingrédients qui optimisent la germination et la croissance des plantes. Il a été utilisé comme traitement comparatif pour évaluer le potentiel de développement maximal des plantules utilisées dans le cadre de ce projet.

3.1.1.2 Résultats

En comparaison aux témoins non traités ou traités au kaolin seulement, aucune des cinq doses d'oxychlorure de cuivre appliquées n'a entraîné de phytotoxicité, les pourcentages moyens de germination variant de 91,8 à 95,4 % pour ces 5 traitements et de 88,7 à 97,8 % pour les traitements témoins (Tableau 2). Aucune différence significative n'a été observée entre les biomasses sèches totales des plantules des cinq traitements de semences enrobées avec l'oxychlorure de cuivre ainsi qu'entre celles des traitements témoins non traités et semés dans du sol de champ stérilisé. Seules les plantules issues des semis effectués dans le terreau commercial avaient une biomasse sèche totale significativement supérieure à celles des autres traitements (Tableau 3).

Tableau 2. Effet phytotoxique de cinq doses de Copper Spray® (oxychlorure de cuivre), appliqué en enrobage des semences avec du Surround® WP (kaolin), sur la germination de citrouilles semées en chambre de croissance, 2014.

Traitement (doses d'oxychlorure de cuivre)	Pourcentage de germination (n=36)			
	Germination (% moyen)	Intervalle de confiance (95 %)		Contraste
		Borne inférieure	Borne supérieure	
50 % dose minimale OCC ^a	93,6	83,2	97,8	a
Dose minimale OCC (500 g/ 100 kg de graines) ^a	91,8	79,7	97,0	a
Dose maximale OCC (750 g/ 100 kg de graines) ^a	94,2	84,4	98,0	a
2X la dose minimale ^a	92,4	80,9	97,2	a
2X la dose maximale ^a	95,4	86,6	98,5	a
Témoin (eau et kaolin) ^a	88,7	74,1	95,5	a
Témoin (eau seulement) ^a	89,3	75,2	95,8	a
Témoin (semences non traitées) ^a	91,2	78,6	96,7	a
Témoin (semences non traitées en terreau)	97,8	91,8	99,4	a
Probabilité observée du test de F de l'effet de traitement : P = 0,1093				

^a Ces traitements ont été effectués en sol de champ stérilisé. Les pourcentages moyens de germination suivis d'une même lettre (dans la colonne contraste) ne sont pas significativement différents ($\alpha = 0,05$), selon les tests basés sur les rapports de cotes.

Tableau 3. Effet phytotoxique de cinq doses de Copper Spray® (oxychlorure de cuivre), appliqué en enrobage des semences avec du Surround® WP (kaolin), sur la biomasse sèche de plantules de citrouilles semées en chambre de croissance, 2014.

Traitement (doses d'oxychlorure de cuivre)	Biomasse sèche totale (n=36)			
	Poids moyen (g)	Intervalle de confiance (95 %)		Contraste
		Borne inférieure	Borne supérieure	
50 % dose minimale OCC ^a	8,60	7,16	10,04	b
Dose minimale OCC (500 g/ 100 kg de graines) ^a	8,12	6,68	9,55	b
Dose maximale OCC (750 g/ 100 kg de graines) ^a	9,03	7,59	10,47	b
2X la dose minimale ^a	8,90	7,46	10,34	b
2X la dose maximale ^a	9,66	8,22	11,09	b
Témoin (eau et kaolin) ^a	7,82	6,38	9,25	b
Témoin (eau seulement) ^a	7,79	6,36	9,23	b
Témoin (semences non traitées) ^a	8,42	6,98	9,85	b
Témoin (semences non traitées en terreau)	19,27	17,83	20,71	a
Probabilité observée du test de F de l'effet de traitement : P<0,0001				

^a Ces traitements ont été effectués en sol de champ stérilisé. Les poids moyens suivis d'une même lettre (dans la colonne contraste) ne sont pas significativement différents ($\alpha = 0,05$), selon les tests de t.

3.1.2 Efficacité de l'oxychlorure de cuivre en chambre de croissance

3.1.2.1 Méthodologie

L'efficacité de l'oxychlorure de cuivre a été évaluée avec la même méthodologie que celle décrite pour évaluer sa phytotoxicité, à l'exception du fait que les semis ont été effectués dans du sol de champ non stérilisé, en présence des agents pathogènes responsables de la fonte des semis. Des échantillons de semences présentant des symptômes de la maladie ont été envoyés au Laboratoire de diagnostic en phytoprotection de Québec. *Pythium aphanidermatum* a été identifié comme l'agent pathogène responsable des symptômes observés dans tous les échantillons.

3.1.2.2 Résultats

L'enrobage des semences avec l'oxychlorure de cuivre a permis d'augmenter légèrement les pourcentages de germination, en comparaison aux témoins non traités ou traités au kaolin seulement, pour lesquels aucune germination n'a été observée. Les pourcentages moyens de germination sont cependant demeurés très faibles, variant de 3,4 à 22,0 % pour les cinq doses d'oxychlorure de cuivre appliquées (Tableau 4). Les biomasses sèches ont eu tendance à augmenter légèrement en fonction de l'augmentation des doses d'oxychlorure de cuivre appliquées. Les biomasses sèches totales des plantules des traitements ayant reçu les deux doses de fongicide les plus élevées sont significativement supérieures à celle du traitement ayant reçu la dose la plus faible (Tableau 5). Les pourcentages de germination ainsi que les biomasses sèches étaient cependant beaucoup plus élevés dans les témoins semés en sol stérilisé et en terreau. Ainsi, même les doses les plus élevées d'oxychlorure de cuivre n'ont permis qu'un très faible niveau de contrôle de la fonte des semis en chambre de croissance.

Tableau 4. Efficacité de cinq doses de Copper Spray® (oxychlorure de cuivre), appliqué en enrobage des semences avec du Surround® WP (kaolin), sur la germination de citrouilles semées en chambre de croissance, 2014.

Traitement (doses d'oxychlorure de cuivre)	Pourcentage de germination (n=28)			
	Germination (% moyen)	Intervalle de confiance (95 %)		Contraste
		Borne inférieure	Borne supérieure	
50 % dose minimale OCC ^a	3,4	1,3	8,7	d
Dose minimale OCC (500 g/ 100 kg de graines) ^a	14,4	8,6	23,1	bc
Dose maximale OCC (750 g/ 100 kg de graines) ^a	12,3	7,1	20,6	c
2X la dose minimale ^a	22,0	14,4	32,2	b
2X la dose maximale ^a	16,8	9,6	24,8	bc
Témoin (eau et kaolin) ^a	0	Ø	Ø	Ø
Témoin (eau seulement) ^a	0	Ø	Ø	Ø
Témoin (semences non traitées) ^a	0	Ø	Ø	Ø
Témoin (semences non traitées en terreau)	97,3	92,3	99,1	a
Témoin (semences non traitées en sol stérilisé)	97,3	92,2	99,1	a
Probabilité observée du test de F l'effet de traitement : P<0,0001				

^a Ces traitements ont été effectués en sol de champ non stérilisé, en présence des agents pathogènes. Les pourcentages moyens de germination suivis d'une même lettre (dans la colonne contraste) ne sont pas significativement différents ($\alpha = 0,05$), selon les tests basés sur les rapports de cotes.

Tableau 5. Efficacité de cinq doses de Copper Spray® (oxychlorure de cuivre), appliqué en enrobage des semences avec du Surround® WP (kaolin), sur la biomasse sèche de plantules de citrouilles semées en chambre de croissance, 2014.

Traitement (doses d'oxychlorure de cuivre)	Biomasse sèche totale (n=28)			
	Poids moyen (g)	Intervalle de confiance (95 %)		Contraste
		Borne inférieure	Borne supérieure	
50 % dose minimale OCC ^a	0,28	0	0,99	c
Dose minimale OCC (500 g/ 100 kg de graines) ^a	0,89	0,19	1,60	bc
Dose maximale OCC (750 g/ 100 kg de graines) ^a	0,91	0,21	1,61	bc
2X la dose minimale ^a	1,70	1,00	2,41	b
2X la dose maximale ^a	1,18	0,48	1,89	b
Témoin (eau et kaolin) ^a	∅	∅	∅	∅
Témoin (eau seulement) ^a	∅	∅	∅	∅
Témoin (semences non traitées) ^a	∅	∅	∅	∅
Témoin (semences non traitées en terreau)	13,63	10,81	16,44	a
Témoin (semences non traitées en sol stérilisé)	10,80	7,99	13,61	a
Probabilité observée du test de F de l'effet de traitement : P<0,0001				

^a Ces traitements ont été effectués en sol de champ non stérilisé, en présence des agents pathogènes. Les poids moyens suivis d'une même lettre (dans la colonne contraste) ne sont pas significativement différents ($\alpha = 0,05$).

3.2 Efficacité de l'oxychlorure de cuivre au champ

3.2.1 Méthodologie

L'efficacité de l'oxychlorure de cuivre a été évaluée au champ en 2014 et 2015. Lors de ces essais, les semis ont été protégés par du filet anti-insectes (ProtekNet 60 g) pour empêcher les dommages causés par les mouches des semis et les chrysomèles rayées du concombre.

Les variables évaluées étaient le pourcentage de germination et la biomasse sèche des plantules après que les plantules aient atteint le stade de deux feuilles.

3.2.2 Résultats

En 2014, le bloc 4 a été inondé par une forte pluie. Les données de ce bloc ont donc été éliminées de l'analyse des résultats. Comme observé en chambre de croissance, les plants des témoins non traités ou traités au kaolin seulement n'ont pas germé et les pourcentages de germination ont eu tendance à augmenter légèrement en fonction de l'augmentation des doses d'oxychlorure de cuivre appliquées, en 2014 et 2015 (Tableaux 6 et 8). Les pourcentages de germination sont cependant demeurés faibles, variant de 31,1 à 53,5 % en 2014 et 5,5 à 17,2 % en 2015. Les biomasses sèches totales ont aussi eu tendance à augmenter en fonction des doses d'oxychlorure de cuivre appliquées; la dose la plus élevée d'OCC étant significativement supérieure à toutes les autres doses en 2014 et les deux doses les plus élevées d'OCC étant significativement supérieures aux deux doses les plus faibles en 2015 (Tableaux 7 et 9). Cependant, dans le cadre de ces essais, même les doses les plus élevées d'oxychlorure de cuivre ont été insuffisantes pour assurer un bon contrôle de la maladie au champ.

Tableau 6. Efficacité de cinq doses de Copper Spray® (oxychlorure de cuivre), appliqué en enrobage des semences avec du Surround® WP (kaolin), sur la germination de citrouilles semées au champ, Saint-Bruno-de-Montarville, 2014.

Traitement (doses d'oxychlorure de cuivre)	Pourcentage de germination (n=20)			
	Germination (% moyen)	Intervalle de confiance (95 %)		Contraste
		Borne inférieure	Borne supérieure	
50 % dose minimale OCC ^a	31,1	21,7	42,3	c
Dose minimale OCC (500 g/ 100 kg de graines) ^a	36,0	25,9	47,4	bc
Dose maximale OCC (750 g/ 100 kg de graines) ^a	52,8	41,3	64,0	a
2X la dose minimale ^a	51,4	39,9	62,7	a
2X la dose maximale ^a	53,5	41,9	64,6	a
Témoin (eau et kaolin) ^a	0	Ø	Ø	Ø
Témoin (eau seulement) ^a	0	Ø	Ø	Ø
Témoin (semences non traitées) ^a	0	Ø	Ø	Ø
Probabilité observée du test de F de l'effet de traitement : P = 0,0055				

^a Ces traitements ont été effectués directement au champ en présence des agents pathogènes. Les pourcentages moyens de germination suivis d'une même lettre (dans la colonne contraste) ne sont pas significativement différents ($\alpha = 0,05$), selon les tests basés sur les rapports de cotes.

Tableau 7. Efficacité de cinq doses de Copper Spray® (oxychlorure de cuivre), appliqué en enrobage des semences avec du Surround® WP (kaolin), sur la biomasse sèche de plantules de citrouilles semées au champ, Saint-Bruno-de-Montarville, 2014.

Traitement (doses d'oxychlorure de cuivre)	Biomasse sèche totale (n=20)			
	Poids moyen (g)	Intervalle de confiance (95 %)		Contraste
		Borne inférieure	Borne supérieure	
50 % dose minimale OCC ^a	16,57	7,71	25,42	b
Dose minimale OCC (500 g/ 100 kg de graines) ^a	18,64	9,78	27,50	b
Dose maximale OCC (750 g/ 100 kg de graines) ^a	21,20	12,34	30,06	b
2X la dose minimale ^a	21,00	12,14	29,86	b
2X la dose maximale ^a	30,73	21,88	39,59	a
Témoin (eau et kaolin) ^a	0,00	∅	∅	∅
Témoin (eau seulement) ^a	0,00	∅	∅	∅
Témoin (semences non traitées) ^a	0,00	∅	∅	∅
Probabilité observée du test de F de l'effet de traitement : P = 0,0387				

^a Ces traitements ont été effectués directement au champ en présence des agents pathogènes. Les poids moyens suivis d'une même lettre (dans la colonne contraste) ne sont pas significativement différents ($\alpha = 0,05$).

Tableau 8. Efficacité de cinq doses de Copper Spray® (oxychlorure de cuivre), appliqué en enrobage des semences avec du Surround® WP (kaolin), sur la germination de citrouilles semées au champ, Saint-Bruno-de-Montarville, 2015.

Traitement (doses d'oxychlorure de cuivre)	Pourcentage de germination (n=20)			
	Germination (% moyen)	Intervalle de confiance (95 %)		Contraste
		Borne inférieure	Borne supérieure	
50 % dose minimale OCC ^a	6,2	2,9	12,7	bc
Dose minimale OCC (500 g/ 100 kg de graines) ^a	5,5	2,5	11,7	cd
Dose maximale OCC (750 g/ 100 kg de graines) ^a	10,3	5,7	18,1	abc
2X la dose minimale ^a	17,2	10,6	26,8	a
2X la dose maximale ^a	13,1	7,6	21,5	ab
Témoin (eau et kaolin) ^a	0	∅	∅	∅
Témoin (eau seulement) ^a	0	∅	∅	∅
Témoin (semences non traitées) ^a	0	∅	∅	∅
Probabilité observée du test de F de l'effet de traitement : P = 0,0210				

^a Ces traitements ont été effectués directement au champ en présence des agents pathogènes. Les pourcentages moyens de germination suivis d'une même lettre (dans la colonne contraste) ne sont pas significativement différents ($\alpha = 0,05$), selon les tests basés sur les rapports de cotes.

Tableau 9. Efficacité de cinq doses de Copper Spray® (oxychlorure de cuivre), appliqué en enrobage des semences avec du Surround® WP (kaolin), sur la biomasse sèche de plantules de citrouilles semées au champ, Saint-Bruno-de-Montarville, 2015.

Traitement (doses d'oxychlorure de cuivre)	Biomasse sèche totale (n=20)			
	Poids moyen (g)	Intervalle de confiance (95 %)		Contraste
		Borne inférieure	Borne supérieure	
50 % dose minimale OCC ^a	1,28	0,05	2,50	cd
Dose minimale OCC (500 g/ 100 kg de graines) ^a	0,98	0	2,20	cd
Dose maximale OCC (750 g/ 100 kg de graines) ^a	1,75	0,52	2,98	bc
2X la dose minimale ^a	3,30	2,07	4,53	a
2X la dose maximale ^a	2,75	1,52	3,98	ab
Témoin (eau et kaolin) ^a	0,00	∅	∅	∅
Témoin (eau seulement) ^a	0,00	∅	∅	∅
Témoin (semences non traitées) ^a	0,00	∅	∅	∅
Probabilité observée du test de F de l'effet de traitement : P = 0,0165				

^a Ces traitements ont été effectués directement au champ en présence des agents pathogènes. Les poids moyens suivis d'une même lettre (dans la colonne contraste) ne sont pas significativement différents ($\alpha = 0,05$).

3.3 Évaluation du conditionnement et de l'enrobage des semences avec des biofongicides composés de micro-organismes en chambre de croissance

3.3.1 Phytotoxicité du conditionnement des semences et de l'application de biofongicides en enrobage des semences

3.3.1.1 Méthodologie

Un traitement de conditionnement des semences a été évalué, en combinaison avec l'utilisation de biofongicides composés de micro-organismes, appliqués en enrobage des semences. Le conditionnement consiste à hydrater les semences pour amorcer les premières phases de la germination, puis à les déshydrater avant la percée de la radicule. Les semences germent donc plus rapidement. Le conditionnement des semences a été effectué par la compagnie États-Unienne Kamterter Products, L.L.C., selon un procédé de prégermination en matrice solide, en voie d'être certifié biologique. Pour évaluer les effets phytotoxiques des traitements, les semences conditionnées ont été semées dans du sol de champ stérilisé, avec ou sans enrobage avec les biofongicides suivants : (1) Mycostop® WP, *Streptomyces griseoviridis*, 8 g/1000 g de semences, (2) Serenade® Max WP, *Bacillus subtilis*, 42 g/1 000 g de semences, (3) Actinovate® SP, *Streptomyces lydicus*, 42 g/1000 g et (4) Rootshield® HC, *Trichoderma harzianum*, 2,5 g/1000 g de semences. Ces traitements ont été comparés à des témoins dont les semences étaient conditionnées ou non conditionnées, puis semées dans du sol stérilisé ainsi que dans le terreau commercial.

3.3.1.2 Résultats

Les semences conditionnées ont germé plus rapidement que les semences non conditionnées. Le lendemain du semis, 29 et 65 % des semences conditionnées étaient au stade de la sortie de l'hypocotyle à la surface du sol, dans les traitements semés en sol stérilisé et en terreau

respectivement, alors qu'aucune semence non conditionnée n'avait encore germé. L'écart entre les traitements s'est graduellement amenuisé avec le temps et, dix jours après le semis, les stades phénologiques des semences non conditionnées étaient presque similaires à ceux des semences conditionnées (résultats non présentés).

Aucune phytotoxicité n'a été observée pour tous les biofongicides appliqués en enrobage des semences. Les pourcentages de germination sont même significativement supérieurs à celui du témoin non conditionné en sol de champ stérilisé (79,7 %), dans le cas du Rootshield (90,6 %) et du Serenade (89,3 %). Pour le Rootshield seulement (8,38 g), la biomasse sèche est aussi significativement supérieure à celui de ce même témoin (6,65 g) (Tableaux 10 et 11).

Tableau 10. Effet phytotoxique d'un traitement de conditionnement des semences, combiné à l'utilisation de différents biofongicides, sur la germination de citrouilles semées en chambre de croissance, 2014.

Traitement (conditionnement et biofongicides)	Pourcentage de germination (n=32)			
	Germination (% moyen)	Intervalle de confiance (95 %)		Contraste
		Borne inférieure	Borne supérieure	
conditionnement seulement ^a	82,5	64,9	92,4	bc
conditionnement et Actinovate ^a	84,0	67,0	93,1	bc
conditionnement et Serenade ^a	89,3	75,7	95,7	b
conditionnement et Mycostop ^a	80,4	62,9	91,2	c
conditionnement et Rootshield ^a	90,6	78,0	96,3	b
Témoin (semences non conditionnées) ^a	79,7	60,9	90,9	c
Témoin (semences non conditionnées en terreau)	96,1	88,4	98,7	a
Témoin (semences conditionnées en terreau)	97,8	92,0	99,4	a
Probabilité observée du test de F de l'effet de traitement : P =0,0007				

^a Ces traitements ont été effectués en sol de champ stérilisé. Les pourcentages moyens de germination suivis d'une même lettre (dans la colonne contraste) ne sont pas significativement différents ($\alpha = 0,05$), selon les tests basés sur les rapports de cotes.

Tableau 11. Effet phytotoxique d'un traitement de conditionnement des semences, combiné à l'utilisation de différents biofongicides, sur la biomasse sèche de plantules de citrouilles semées en chambre de croissance, 2014.

Traitement (conditionnement et biofongicides)	Biomasse sèche totale (n=32)			
	Poids moyen (g)	Intervalle de confiance (95 %)		Contraste
		Borne inférieure	Borne supérieure	
conditionnement seulement ^a	7,23	5,92	8,53	cd
conditionnement et Actinovate ^a	7,83	6,52	9,13	cd
conditionnement et Serenade ^a	7,93	6,62	9,23	cd
conditionnement et Mycostop ^a	6,93	5,62	8,23	cd
conditionnement et Rootshield ^a	8,38	7,07	9,68	c
Témoin (semences non conditionnées) ^a	6,65	5,34	7,96	d
Témoin (semences non conditionnées en terreau)	12,23	10,92	13,53	a
Témoin (semences conditionnées en terreau)	11,00	9,69	12,31	ab
Probabilité observée du test de F de l'effet de traitement : P <0,0001				

^a Ces traitements ont été effectués en sol de champ stérilisé. Les poids moyens d'une colonne suivis d'une même lettre (dans la colonne contraste) ne sont pas significativement différents ($\alpha = 0,05$).

3.3.2 Efficacité du conditionnement des semences et de l'application de biofongicides en enrobage des semences

3.3.2.1 Méthodologie

L'efficacité du traitement de conditionnement des semences, combiné à l'application de biofongicides en enrobage des semences, a été évaluée dans du sol de champ non stérilisé, en présence d'agents pathogènes responsables de la fonte des semis.

Pour évaluer l'efficacité du conditionnement des semences combiné à l'enrobage de biofongicides, les semences conditionnées ont été semées dans du sol de champ non stérilisé, avec ou sans enrobage avec les biofongicides suivants : (1) Mycostop® WP, *Streptomyces griseoviridis*, 8 g/ 1000 g de semences, (2) Serenade® Max WP, *Bacillus subtilis*, 42 g/ 1000 g de semences, (3) Actinovate® SP, *Streptomyces lydicus*, 42 g/ 1000 g et (4) Rootshield® HC, *Trichoderma harzianum*, 2,5 g/ 1000 g de semences. Ces traitements ont été comparés à des témoins dont les semences étaient conditionnées ou non conditionnées, puis semées dans du sol stérilisé ainsi que dans le terreau commercial.

3.3.2.2 Résultats

Aucun des traitements n'a permis de contrôler la maladie, la germination étant nulle pour tous les traitements effectués (Tableaux 12 et 13).

Tableau 12. Efficacité d'un traitement de conditionnement des semences, combiné à l'utilisation de différents biofongicides, sur la germination de citrouilles semées en chambre de croissance, 2014.

Traitement (conditionnement et biofongicides)	Pourcentage de germination (n=9)			
	Germination (% moyen)	Intervalle de confiance (95 %)		Contraste
		Borne inférieure	Borne supérieure	
conditionnement seulement ^a	0	Ø	Ø	Ø
conditionnement et Actinovate ^a	0	Ø	Ø	Ø
conditionnement et Serenade ^a	0	Ø	Ø	Ø
conditionnement et Mycostop ^a	0	Ø	Ø	Ø
conditionnement et Rootshield ^a	0	Ø	Ø	Ø
Témoin (semences non conditionnées) ^a	0	Ø	Ø	Ø
Témoin (semences conditionnées en sol stérilisé)	98,9	73,6	100,0	a
Témoin (semences non conditionnées, sol stérilisé)	92,7	40,1	99,6	a
Témoin (semences conditionnées en terreau)	98,9	73,6	100,0	a
Probabilité observée du test de F de l'effet de traitement : P = 0,0758				

^a Ces traitements ont été effectués en sol de champ non stérilisé en présence des agents pathogènes. Les pourcentages moyens de germination suivis d'une même lettre (dans la colonne contraste) ne sont pas significativement différents ($\alpha = 0,05$), selon les tests basés sur les rapports de cotes.

Tableau 13. Efficacité d'un traitement de conditionnement des semences, combiné à l'utilisation de différents biofongicides, sur la biomasse sèche de plantules de citrouilles semées en chambre de croissance, 2014.

Traitement (conditionnement et biofongicides)	Biomasse sèche totale (n=12)			
	Poids moyen (g)	Intervalle de confiance (95 %)		Contraste
		Borne inférieure	Borne supérieure	
conditionnement seulement ^a	Ø	Ø	Ø	Ø
conditionnement et Actinovate ^a	Ø	Ø	Ø	Ø
conditionnement et Serenade ^a	Ø	Ø	Ø	Ø
conditionnement et Mycostop ^a	Ø	Ø	Ø	Ø
conditionnement et Rootshield ^a	Ø	Ø	Ø	Ø
Témoin (semences non conditionnées) ^a	Ø	Ø	Ø	Ø
Témoin (semences conditionnées, sol stérilisé)	8,40	6,27	10,53	b
Témoin (semences non conditionnées, sol stérilisé)	6,30	4,17	8,43	c
Témoin (semences conditionnées en terreau)	10,43	8,29	12,56	a
Probabilité observée du test de F de l'effet de traitement : P = 0,0011				

^a Ces traitements ont été effectués en sol de champ non stérilisé, en présence des agents pathogènes. Les poids moyens suivis d'une même lettre (dans la colonne contraste) ne sont pas significativement différents ($\alpha = 0,05$).

3.4 Évaluation de l'efficacité de la prégermination et de l'enrobage des semences avec des biofongicides composés de micro-organismes, en chambre de croissance

Cette partie de la phase 1 inclut une évaluation de l'efficacité de la prégermination et de l'enrobage avec des biofongicides. L'évaluation de la phytotoxicité de l'enrobage des semences avec des biofongicides est présentée dans la section 3.3.1 Phytotoxicité du conditionnement des semences et de l'application de biofongicides en enrobage des semences.

3.4.1 Méthodologie

L'efficacité d'un traitement de prégermination des semences a été évaluée, en combinaison à l'utilisation des biofongicides suivants: (1) Mycostop® WP, *Streptomyces griseoviridis*, 0,2 L/m² de vermiculite d'une suspension de 0,05 % (1 g/2 L d'eau), (2) Serenade® Max WP, *Bacillus subtilis*, 6 kg/10 000 m² de vermiculite, (3) Actinovate® SP, *Streptomyces lydicus*, 84 g/m³ de vermiculite et (4) Rootshield® HC, *Trichoderma harzianum*, 110 g/m³ de vermiculite. La prégermination est une technique réalisable à la ferme, utilisée en Autriche pour accélérer la germination des semences de citrouilles à graines sans tégument et ainsi limiter la période de temps où ces semences sont le plus sensibles à la fonte des semis. Elle consiste à hydrater les semences jusqu'à ce que la radicule émerge puis atteigne de 0,5 à 1 cm de longueur. Les semences ont été immergées dans l'eau pendant 12 heures, drainées puis incubées dans un mélange d'eau et de vermiculite pendant 36 heures, en présence de chaque biofongicide.

3.4.2 Résultats

Le pourcentage moyen de germination des semences prégermées et semées en sol non stérilisé était de 73,3 %, alors que celui du témoin de semences non prégermées et semées en sol non stérilisé était de 0 % (Tableau 14). Il n'y avait pas de différence significative entre la biomasse sèche des semences prégermées seulement (3,35 g) et celles des semences prégermées et enrobées avec les biofongicides (de 2,50 à 3,50 g). Il n'y avait pas non plus de différence significative entre la biomasse sèche des semences prégermées et semées en sol non stérilisé (4,10 g) et celles des semences semées en sol stérilisé (4,05 g) (Tableau 15). La prégermination a donc contribué à lutter contre la fonte des semis, mais l'ajout de biofongicides n'a pas amélioré l'efficacité de la prégermination.

Tableau 14. Efficacité d'un traitement de prégermination des semences combiné à l'utilisation de biofongicides sur la germination de citrouilles semées en chambre de croissance, 2014.

Traitement (prégermination et biofongicides)	Pourcentage de germination (n=32)			
	Germination (% moyen)	Intervalle de confiance (95 %)		Contraste
		Borne inférieure	Borne supérieure	
prégermination seulement ^a	73,3	54,5	86,2	bc
prégermination et Actinovate ^a	59,6	39,8	76,7	c
prégermination et Serenade ^a	81,4	64,9	91,2	b
prégermination et Mycostop ^a	63,9	44,1	79,8	c
prégermination et Rootshield ^a	72,2	53,3	85,6	bc
Témoin (semences non prégermées) ^a	0	∅	∅	∅
Témoin (semences prégermées en terreau)	97,4	90,1	99,3	a
Témoin (semence non pré-germées, sol stérilisé)	80,4	63,5	90,6	b
Témoin (semences prégermées, sol stérilisé)	93,7	83,8	97,8	a
Probabilité observée du test de F de l'effet de traitement : P<0,0001				

^a Ces traitements ont été effectués en sol de champ non stérilisé, en présence des agents pathogènes. Les pourcentages de germination suivis d'une même lettre (dans la colonne contraste) ne sont pas significativement différents ($\alpha = 0,05$), selon les tests basés sur les rapports de cotes.

Tableau 15. Efficacité d'un traitement de prégermination des semences combiné à l'utilisation de biofongicides sur la biomasse sèche de plantules de citrouilles semées en chambre de croissance, 2014.

Traitement (prégermination et biofongicides)	Biomasse sèche totale (n=25)			
	Poids moyen (g)	Intervalle de confiance (95 %)		Contraste
		Borne inférieure	Borne supérieure	
prégermination seulement ^a	3,35	2,01	4,69	bc
prégermination et Actinovate ^a	2,50	1,16	3,84	c
prégermination et Serenade ^a	3,50	2,13	4,84	bc
prégermination et Mycostop ^a	2,70	1,36	4,04	c
prégermination et Rootshield ^a	3,43	2,09	4,76	bc
Témoin (semences non prégermées) ^a	∅	∅	∅	∅
Témoin (semences prégermées en terreau)	7,02	5,69	8,36	a
Témoin (semences non prégermées, sol stérilisé)	4,05	2,71	5,39	b
Témoin (semences prégermées, sol stérilisé)	4,10	2,76	5,44	b
Probabilité observée du test de F de l'effet de traitement : P<0,0001				

^a Ces traitements ont été effectués en sol de champ non stérilisé, en présence des agents pathogènes. Les poids moyens suivis d'une même lettre (dans la colonne contraste) ne sont pas significativement différents ($\alpha = 0,05$).

3.5 Sommaire des résultats de la Phase 1 du projet

Le Tableau 16 présente un sommaire des résultats des tests d'efficacité effectués dans la phase 1 de ce projet. Tous les essais pour évaluer la phytotoxicité des différents traitements de semences n'ont démontré aucun effet sur la germination et la biomasse sèche.

Tableau 16. Sommaire des résultats des tests d'efficacité effectués en chambre de croissance et en champ, 2014 et 2015.

	Traitements de semences	Tests d'efficacité
Essais en chambre de croissance	Oxychlorure de cuivre (Copper Spray®) ¹	- pourcentage de germination varie de 3,4 à 22,0 % selon la dose - aucune germination dans le témoin non traité en sol non stérilisé
	Conditionnement avec et sans enrobage avec biofongicides ²	aucune germination
	Prégermination avec et sans biofongicides ²	- pourcentage de germination varie de 59,6 à 81,4 % selon le biofongicide et 73,3 % sans biofongicide - aucune germination dans le témoin non traité
Essais en champ	Oxychlorure de cuivre (Copper Spray®) ¹	2014 : - pourcentage de germination varie de 31,1 % à 53,5 % - dose de plus 750 g/100 kg de semences : plus de 50 % de germination - aucune germination dans les témoins non traités 2015 : - pourcentage de germination varie de 5,5 % à 17,2 % - dose de 750 g/100 kg de semences : plus de 50 % de germination - aucune germination dans les témoins non traités

¹ Traitements : 50 % dose minimale, dose minimale, dose maximale, 2x dose minimale, 2x dose maximale, témoin (eau et kaolin), témoin (eau seulement), semences non traitées, semences non traitées semées dans un terreau.

² Biofongicides testés : Actinovate® (*Streptomyces lydicus*), Serenade® Max (*Bacillus subtilis*), Mycostop® (*Streptomyces griseoviridis*) et Rootshield® (*Trichoderma harzianum*).

4. PHASE 2 – COMPARAISON DE L'UTILISATION DE L'OXYCHLORURE DE CUIVRE, LA PRÉGERMINATION ET L'UTILISATION DE TRANSPLANTS

À la lumière des résultats obtenus en chambre de croissance, les semis de semences traitées à la dose la plus forte d'oxychlorure de cuivre (OCC), soit deux fois la dose maximale (2 x 750 g/ha), ainsi que les semences prégermées ont été les traitements retenus pour l'expérimentation en champ de 2015 et pour être comparés à l'utilisation de transplants.

4.1. Méthodologie

4.1.1 Dispositif expérimental

L'essai a été réalisé durant l'été 2015, à la Plateforme d'innovation en agriculture biologique située à Saint-Bruno-de-Montarville. Les trois traitements; transplants, semis traités à l'OCC (1 500 g/ 100 kg de graines) et semis de graines prégermées ont été disposés en blocs complets aléatoires répétés quatre fois. Chaque parcelle comprenait 3 rangs de 5 mètres de long. L'espacement entre les rangs était de 1,5 mètre et celui entre les plants sur le rang était de 0,3 mètre.

Les graines ont été mises à prégermer quatre jours avant la date de transplantation et de semis. Pour cela, les semences ont d'abord été plongées dans l'eau du robinet pendant 12 heures à l'obscurité et à une température de 23 °C. Les graines ont ensuite été sorties de l'eau et placées dans une chambre de croissance dans de la vermiculite saturée d'eau pendant 36 heures, à l'obscurité, à une température de 23 °C et 55 % d'humidité. La superficie des bacs étant de 1260 cm², une épaisseur d'environ 3,2 cm de vermiculite a été disposée au fond des bacs, obtenant ainsi un volume de 4 030 cm³ de vermiculite. Pour humidifier la vermiculite, un volume de 1,6 L d'eau a été utilisé par bac. Les semences prégermées ont ensuite été retirées de la vermiculite et semées directement au champ. Seules les graines dont la radicule mesurait entre 0,5 à 1 cm ont été utilisées pour le semis. Ceci correspond à la taille sélectionnée par les producteurs autrichiens en Styrie. Cette pratique peut être expliquée par le fait qu'une radicule trop longue se casse lors de la transplantation et une radicule trop courte entraîne un retard dans le développement du plant.

Le projet a été réalisé sur un loam sablo-argileux de la série Aston. Du fumier de poulet Acti-sol® a été appliqué à la volée, à raison de 80 kg N/ha, avec un épandeur d'engrais Vicon. L'engrais a été incorporé par un passage de vibroculteur. Une deuxième dose de fumier de poulet a été appliquée manuellement, en bande à la floraison, à raison de 35 kg N/ha.

La transplantation et le semis ont été effectués manuellement le 11 juin. Les transplants ont été irrigués manuellement à la transplantation, puis à nouveau le 13 juin. Les plants ont été pulvérisés avec du Surround® WP (kaolin), à raison de 25 kg/ha et à un volume de 500 litres/ha, au moment de la transplantation et de l'émergence des semis, afin de les protéger contre la chrysomèle rayée du concombre. Les pulvérisations ont été répétées après chaque pluie ou lors de l'apparition de nouvelles feuilles, jusqu'à l'atteinte du stade de 5 feuilles. Les pulvérisations de Surround® WP ont été effectuées à quatre reprises sur les transplants et les semis traités à l'OCC, puis à cinq reprises sur les semis de graines prégermées, ces derniers ayant atteint le stade de 5 feuilles plus lentement que les semis traités à l'OCC.

Trois désherbages mécaniques ont été effectués dans les entre-rangs, avec des sarclours à dents en S avec socs pattes d'oies et socs étroits de 6 cm, soit les 30 juin et les 6 et 10 juillet. Un désherbage manuel a aussi été effectué le 30 juin sur les rangs.

4.1.2 Prise de données

À partir du 17 juin, les parcelles ont été dépistées une fois par semaine, pour évaluer le stade phénologique des plants, le nombre de chrysomèles rayées du concombre (CRC) par plant, les dommages causés par la CRC, l'incidence du flétrissement bactérien (FB), ainsi que la présence d'autres insectes ravageurs, maladies ou désordres physiologiques.

Le stade phénologique des plants a été déterminé grâce à une adaptation de l'échelle BBCH. On note CF lorsque les cotylédons sont apparents, mais fermés, CO : cotylédons ouverts, 1F : présence d'une vraie feuille, 2F : présence de 2 vraies feuilles, etc. Jusqu'à 5F : présence de 5 vraies feuilles. On note ensuite DTL pour début de tiges latérales, TL : tiges latérales, DF = début de floraison, FL = pleine floraison, DFR = apparition des premiers fruits, FR = fructification, FRC = début coloration des fruits.

L'incidence du FB et la mortalité dû au FB ont été évaluées chaque semaine, sur tous les plants de chaque parcelle, en attribuant une cote de 0 à 2 à chacun des plants de la parcelle : 0 : plant sain; 1 : présentant des symptômes de FB; 2 : plant mort dû au FB. Lors de l'apparition de symptômes de FB, le plant infecté était marqué par un drapeau et un suivi de l'évolution de la maladie est effectué chaque semaine, et ce, jusqu'à la récolte, afin de s'assurer qu'il s'agit bien de flétrissement bactérien.

Les décomptes de CRC ont été effectués sur 10 plants échantillonnés au hasard dans chaque parcelle, jusqu'à la floraison. Lorsque plus de 50 % des plants avaient atteint le stade de floraison, le décompte des CRC s'est poursuivi sur 10 fleurs mâles ouvertes par parcelle.

L'évaluation des dommages causés par la CRC a été réalisée à l'aide d'indices de défoliation sur les 10 mêmes plants que le décompte de la CRC. L'échelle des indices pour évaluer la défoliation fut la suivante : 0 = (aucun dommage) 0 % de défoliation; 1 = 1-25 % de défoliation; 2 = 26-50 % de défoliation; 3 : 51-75 % de défoliation; 4 = 76-99 % de défoliation; 5 = (mort du plant) 100 % de défoliation.

4.1.3 Récolte et évaluation du rendement

Le 6 octobre 2015, les citrouilles ont été identifiées au champ (bloc, parcelle, numéro), puis récoltées. Leur diamètre et leur longueur ont été notés, puis elles ont été classées commercialisables ou non commercialisables, en fonction de leur maturité et de la présence de pourriture pouvant affecter la qualité des graines, en raison notamment du flétrissement bactérien. Les graines matures ont ensuite été extraites, comptées et séchées à 50 °C. Elles ont ensuite été pesées. Les variables de rendement et de qualité suivantes ont été évaluées : poids et nombre total de citrouilles commercialisables, poids moyen par citrouille, poids et nombre de graines par citrouille et poids de 1000 graines de citrouille.

4.2 Résultats

4.2.1. Évaluation de la mortalité des plantules

Les modes d'implantation (transplants, semis avec enrobage de semences et semis avec semences prégermées) ont grandement influencé le nombre de plants qui ont survécu à ces différentes méthodes.

Le Tableau 17 indique que la transplantation a provoqué une mortalité bien moindre que celle consécutive à l'utilisation de semences enrobées avec de l'OCC. En comparaison avec les plantules provenant de semences enrobées avec de l'OCC (89 %), les plantules provenant de semences prégermées ont montré une mortalité plus faible (36 %). Ce résultat suggère que la prégermination serait un choix plus intéressant pour assurer une meilleure levée si un semis est envisagé.

Bien que l'enrobage avec l'OCC ait permis un taux de germination de 22,0 % avec la dose la plus forte dans les essais en chambre de croissance (Tableau 4) et de 53,5 % en champ (Tableau 6) , son utilisation n'a entraîné que 11 % de survie lors de cette expérimentation. Ce résultat se compare aux travaux en champ de 2015 qui avaient résulté en un pourcentage maximal de germination de 13,1 % (Tableau 8). Ce traitement de semences semble donc offrir des résultats très variables.

Tableau 17. Pourcentage de mortalité des plantules de citrouilles résultant de la transplantation et du semis de citrouille Styriaca, Saint-Bruno-de-Montarville, 2015.

Traitements	Pourcentage de mortalité des plantules de citrouilles
Transplants	10
Semences enrobées avec de l'OCC	89
Semences prégermées	36

4.2.2. Chronologie des stades phénologiques

Le stade 5 feuilles est atteint le 26 juin pour les transplants et le 9 juillet pour les plants ayant été semés après un traitement à l'OCC ainsi que ceux ayant subi une prégermination. Les transplants atteignent le stade de floraison le 9 juillet, alors que les plants ayant subi les autres traitements l'atteignent le 23 juillet, deux semaines plus tard. Le début de fructification commence le 30 juillet pour les transplants et le 13 août pour les autres traitements (Tableau 18).

Les plants ayant été transplantés se développent avec deux semaines d'avance sur les autres traitements, et maintiennent cette avance tout au long de leur croissance et développement. Ceci s'explique par le fait que les plants transplantés ont déjà une à deux vraies feuilles formées au moment de la transplantation. En permettant cette avance de deux semaines de développement des plants, il est également possible que la transplantation assure également une meilleure maturité des citrouilles et du remplissage de leurs graines en fin de saison, un avantage très important lorsque le rendement en graines est ciblé.

En revanche, les graines ayant été semées avec un traitement préalable à l'oxychlorure de cuivre et les graines prégermées se développent de façon synchronisée et auront donc le même patron de maturité.

Tableau 18. Chronologie des stades phénologiques atteints par 50 % des plants, Saint-Bruno-de-Montarville, 2015.

Traitements	Stades phénologiques		
	5F	FL	FR
Transplants	26/06	09/07	30/07
Semences enrobées avec de l'OCC	09/07	23/07	13/08
Semences prégermées	09/07	23/07	13/08

4.2.3. Suivi et impact de la chrysomèle rayée du concombre

Le nombre de chrysomèles rayées du concombre suit la même évolution quels que soient les traitements (Figure 1). Le nombre moyen de CRC augmente rapidement à partir du 26 juin pour les transplants, et à partir du 2 juillet pour les deux autres traitements. Ce nombre moyen de CRC diminue ensuite au moment de la floraison des plants (9 juillet pour les transplants, 23 juillet pour les deux autres traitements). À partir du 6 août, le nombre moyen de CRC par unité d'échantillonnage redevient très faible (entre 0,18 et 0,45 CRC par fleur au 6 août). C'est donc au début de leur développement que les plants attirent le plus les chrysomèles. Avant le 9 juillet (floraison des transplants), les plants transplantés, qui sont plus gros que les plants résultant de semis, attirent plus de CRC que les deux autres traitements.

Par contre après le 9 juillet, les transplants ont en moyenne moins de CRC que les autres traitements. Entre le 9 et le 23 juillet, on observe un pic du nombre de CRC par plant du traitement à l'OCC, qui atteint 5,31 CRC par plant le 16 juillet.

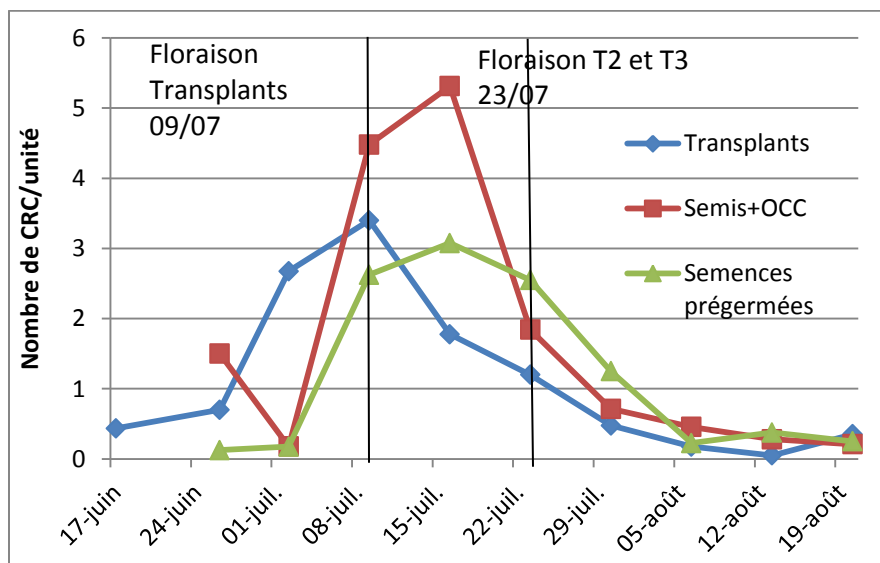
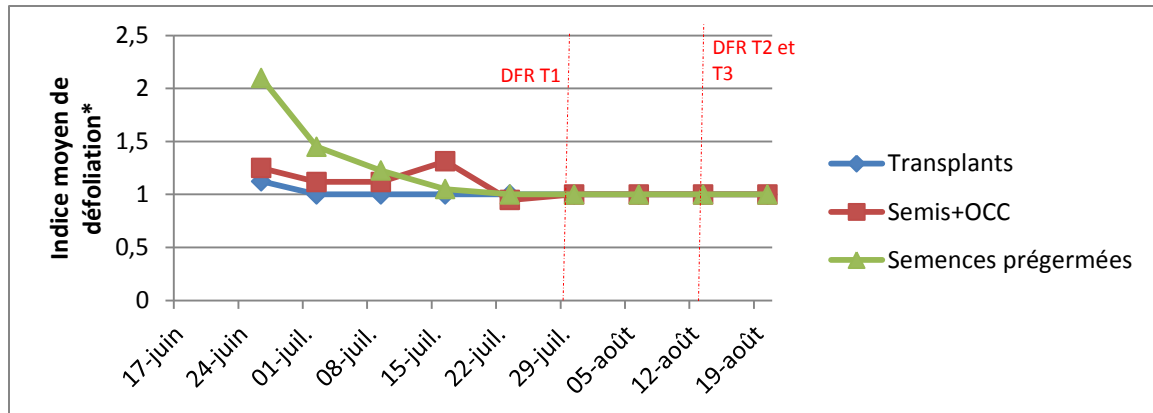


Figure 1. Nombre moyen de CRC par plant (avant la floraison) et par fleur (après le début de la floraison pour plus de 50 % des plants) selon trois modes d'implantation : la transplantation, les semences enrobées avec OCC et les semences prégermées, Saint-Bruno-de-Montarville, 2015.

Avant la floraison, la présence de CRC sur les plantules entraîne une défoliation. Au tout début de nos observations, le 26 juin, bien que les CRC soient plus nombreuses sur les plantules des

traitements « semences enrobées à l'OCC » et « transplants », il est possible de constater un indice moyen de défoliation plus élevé pour les semences prégermées (Figure 2). Cette observation correspond au moment où les plantules de ce traitement n'avaient pas encore atteint le stade de 5 feuilles, un stade où l'impact de la défoliation est d'autant plus critique. À mesure que les plants croissent, la différence dans l'indice moyen s'atténue. Lors de l'observation du 16 juillet, le pourcentage moyen de défoliation de tous les plants est alors compris entre 1 et 25 %. En effet, à ce moment-là, les plants ont tous atteint une taille qui fait en sorte que la défoliation est plutôt négligeable. Ceci est d'autant plus vrai pour les transplants qui ont atteint la floraison ayant comme résultat que les CRC se retrouvent dans les fleurs.



* Indice de défoliation : 0 correspond à un pourcentage de défoliation de 0 %, 1 : 1 à 25 %, 2 : 26 à 50 %, 3 : 51 à 75 %, 4 : 76 à 99 % et 5 correspond à la mort du plant due à une défoliation trop importante.

Figure 2. Évolution de l'indice moyen de défoliation au cours du temps selon les trois modes d'implantation : la transplantation, les semences enrobées avec OCC et les semences prégermées, Saint-Bruno-de-Montarville, 2015.

4.2.4. Incidence et impact du flétrissement bactérien

En plus d'entraîner une perte de surface foliaire, la CRC peut transmettre le flétrissement bactérien aux plants. L'apparition de symptômes du FB a été plus précoce chez les plants du traitement « semences prégermées » puisqu'elle a lieu le 9 juillet (Tableau 19). Deux semaines plus tard, soit le 23 juillet, le FB est apparu sur les transplants. Finalement, les premiers symptômes de FB n'ont été observés que le 30 juillet sur les plants du traitement « semences enrobées à l'OCC ». Bien que l'apparition de symptômes du FB ait été plus précoce chez les plants du traitement « semences prégermées », le pourcentage de mortalité dû au FB n'a pas été plus élevé pour ce traitement que pour les autres.

Tableau 19. Date d'apparition du flétrissement bactérien FB et analyse du pourcentage de plant par cote d'incidence du FB, Saint-Bruno-de-Montarville, 2015

Traitement	Date d'apparition du FB	Pourcentage de plant/ cote d'incidence du FB		
		0 ^a	1 ^b	2 ^c
Transplants	23-juil	76,74	20,93	2,33
OCC	30-juil	53,33	40,00	6,67
Prégermées	09-juil	76,92	19,78	3,30
Probabilité observée du test de F de l'effet de traitement: P = 0,2064				

^a plant sain, ^b plant présentant des symptômes de FB, ^c plant mort dû au FB. L'effet de traitement est non significatif, au seuil ($\alpha = 0,05$).

Le pourcentage de plants présentant des symptômes semble plus élevé pour le traitement « semences enrobées à l'OCC », 40,00 % contre 20,93 % et 19,78 % pour les transplants et les plants du traitement « semences prégermées » respectivement (Tableau 19). Ce pourcentage de plants présentant des symptômes de FB plus élevé pour le traitement « semences enrobées à l'OCC » coïncide avec un pourcentage de mortalité dû au FB également plus élevé pour ce traitement, soit 6,67 % comparativement à 2,33 et 3,30 pour les transplants et les plants du traitement « semences prégermées » respectivement (Tableau 19). Par contre, l'analyse statistique ne détecte pas de différences significatives entre les traitements, que ce soit pour le pourcentage de plants présentant des symptômes ou le pourcentage de mortalité dû au FB.

En combinant le pourcentage de mortalité dû au FB et celui des plants avec des symptômes de FB, on obtient des pourcentages d'incidence du FB de 23,26 %, 46,67 % et 23,08 % pour les traitements « transplants », « semences enrobées à l'OCC » et « semences prégermées » respectivement.

Un modèle linéaire généralisé a été appliqué en spécifiant une distribution multinomiale ordinaire de la variable réponse à l'aide de la procédure GLIMMIX de SAS. L'effet de traitement est non significatif ($P=0.2064$). Les chances d'appartenance à une cote par rapport à une autre ne sont pas liées au traitement.

4.2.5. Rendement commercialisable en fruits et en graines

Le rendement en citrouilles a été significativement plus élevé pour le traitement « transplants » avec 1,40 citrouille par m² comparativement aux deux autres traitements qui ont donné des rendements en citrouilles inférieurs à une citrouille par m², soit respectivement 0,32 et 0,75 pour le traitement « semences enrobées à l'OCC » et « semences prégermées » (Tableau 20). La même tendance se reflète dans les rendements en poids par hectare avec 59 548 kg/ha pour le mode d'implantation par transplants, 18 250 kg/ha pour le semis de semences enrobées avec OCC et 35 046 kg/ha pour les semences prégermées.

Le nombre plus élevé de citrouilles pour le traitement « transplants » s'est traduit également par un rendement significativement plus élevé en graines que les deux autres traitements avec semis. Il n'est pas étonnant que l'utilisation de transplants assure des rendements supérieurs

étant donné que les plants de ces parcelles se sont développés plus rapidement que les autres (Tableau 18). Par contre, la différence est tout de même considérable. L'utilisation de transplants a résulté en des rendements près de deux fois supérieurs à ceux de semis avec semences prégermées (573 kg/ha) et près de cinq fois supérieurs à ceux de semis avec semences enrobées avec de l'OCC (234 kg/ha). Avec des transplants, le rendement en graines dépasse la tonne à l'hectare dans notre expérimentation. Ce rendement est comparable aux rendements obtenus en Autriche (Styrie), en Slovénie et dans l'ouest de la Hongrie (Bavec et al. 2007). Les rendements dans ces zones productrices de graines de citrouille varient entre 500 et 800 kg/ha, atteignant jusqu'à 1 200 kg/ha dépendamment des conditions climatiques, du système de production, de la pression des mauvaises herbes et des maladies.

Dans une étude comparative « transplants et semis avec ou sans prégermination » réalisée sur trois ans (1997-1998-1999) au sud de l'Autriche et au nord de la Slovénie, les rendements ont été de 1 030 kg/ha pour les semis avec semences sans prégermination, 1 270 kg/ha pour un semis avec semences prégermées et 1 675 kg/ha pour les transplants (Bavec et al. 2002). Ces résultats démontrent que l'utilisation de transplants peut résulter en des rendements de beaucoup supérieurs aux semis. Par contre, des variations saisonnières ont été observées. En effet, sur les trois années d'expérimentation, les rendements ont varié de manière importante, soit de 445 à 1 500 kg/ha, de 800 à 1 765 kg/ha et de 1 305 à 2 360 kg/ha pour les semis sans prégermination, les semis avec prégermination et les transplants respectivement. Il importe donc de souligner que la comparaison entre les transplants et les semis réalisée dans ce projet a porté sur une seule année d'expérimentation en champ.

En plus d'un rendement plus élevé en graines, Bavec et al. (2002) rapporte que l'utilisation de transplants s'est traduite par un plus gros rendement en fruits (nombre et poids) et de plus fruits. Ces observations correspondent également aux résultats présentés dans le Tableau 20 à l'exception qu'aucune différence significative n'a été observée concernant le poids moyen des fruits.

Aucune différence significative n'a été démontrée pour le poids des 1 000 graines.

Tableau 20. Rendement en fruits et en graines, Saint-Bruno-de-Montarville, 2015.

Traitements	Rendement					
	Citrouilles commercialisables	Citrouilles non commercialisables	Rendement en citrouilles commercialisables	Poids moyen des citrouilles commercialisables	Poids de 1000 graines	Rendement en graines commercialisables
	nb/m2	nb/m2	kg/ha	g/citrouille	g/1000 graines	kg/ha
Transplants	1,40 (0,14)	0,16 (0,06)	59 548 (6 700)	4 260 (239)	198,5 (6,4)	1 062 (88)
OCC	0,32 (0,14)	0,07 (0,06)	18 250 (6 700)	5 561 (438)	206,2 (12,0)	234 (88)
Prégermées	0,75 (0,14)	0,21 (0,06)	35 046 (6 700)	4 727 (289)	208,5 (7,6)	574 (88)
ANOVA (Pr > F)	0,0022	0,1311	0,0063	0,0839	0,622	0,0007
Contraste (Pr > t)						
Transplants vs OCC	0,0007	0,3129	0,0022	0,001	0,5973	0,0002
Transplants vs prégermées	0,009	0,6059	0,023	<0,0001	0,3888	0,0039
OCC vs prégermées	0,046	0,1433	0,0829	<0,0001	0,8792	0,0194

5. ANALYSE ÉCONOMIQUE

5.1 Contexte

Dans des travaux de recherche précédents à l'IRDA sur la production de citrouille biologique, une première analyse économique démontrait une certaine faisabilité de cette production au Québec (Boisclair et al. 2013). Cette analyse consistait à calculer des prix cibles qui feraient en sorte que les producteurs seraient incités à produire et qu'ils seraient concurrentiels avec les compétiteurs internationaux, notamment de l'Europe. À l'époque, les acheteurs de graines de citrouille biologiques mentionnaient que ce produit était importé au coût de 6,00 dollars par kilogramme (\$/kg) en provenance de Chine et de 10,00 \$/kg en provenance de l'Europe. Les prix cibles calculés à partir des résultats agronomiques variaient pour leur part généralement entre 6,00 et 10,00 \$/kg. La faisabilité de la production semblait encore meilleure si les citrouilles étaient produites pour la vente des fruits plutôt que des graines. Cela dit, l'information obtenue récemment dans le cadre du présent projet fait état d'un coût d'importation passablement moindre pour les graines de citrouille biologiques en provenance de Chine, mais semblable en ce qui a trait au produit provenant de l'Europe.

Dans les travaux de 2013, une certaine incertitude demeurait à propos des résultats économiques. Par exemple, concernant les coûts de récolte-égrenage¹, l'hypothèse retenue était à l'effet que la récolte-égrenage des citrouilles pourrait représenter un coût semblable à la récolte d'une autre culture de cucurbitacée. Or, cette hypothèse demeurait à vérifier et c'est ce qui est fait dans la présente analyse. Une autre hypothèse restait à vérifier en lien avec les opérations culturales comme la récolte-égrenage, soit les machineries qui devraient être acquises par un producteur qui voudrait débiter cette nouvelle culture au Québec. En d'autres mots, faut-il présumer qu'un seul producteur acquerrait les machineries nécessaires ou faut-il plutôt supposer une certaine forme de propriété collective ? Cette question est importante, car elle a potentiellement un impact sur le système de production lui-même. Dans la présente analyse, nous proposons une forme pour ce système de production, le tout en parallèle des résultats économiques obtenus.

5.2 Méthode

5.2.1 Prix cible

L'approche méthodologique retenue est la même que celle utilisée dans Boisclair et al. (2013). Dans l'analyse de rentabilité d'une nouvelle culture, il faut pouvoir en évaluer la faisabilité, et ce, dans le contexte d'un manque d'information économique. En effet, par définition, une culture qui n'est pas déjà implantée ne fait pas l'objet de transactions et par conséquent, il n'y a pas d'information disponible sur le prix de la culture. Il est alors impossible de calculer une marge bénéficiaire. Toutefois, une transformation mathématique simple du calcul de la marge bénéficiaire permet le calcul d'une cible de prix. C'est cette information économique qu'il faut obtenir de sorte que la cible de prix permet, à la fois, au producteur et à l'acheteur d'envisager de bonnes perspectives de rentabilité et de compétitivité. En d'autres mots, le prix cible doit, d'une part, permettre au producteur de dégager une marge bénéficiaire comparable à celles obtenues dans les autres productions biologiques qu'il produit. D'autre part, ce prix cible doit

¹ Les récolteuses de citrouilles produites pour la graine sont fabriquées de sorte que l'égrenage se fait à même la récolte.

aussi permettre à l'acheteur de s'approvisionner au Québec de façon concurrentielle en regard de l'approvisionnement provenant de l'importation.

Comme mentionné précédemment et tel que décrit dans Boisclair et al. (2013), le prix cible est calculé à partir d'une transformation mathématique simple de la marge bénéficiaire, tel qu'elle est calculée dans l'équation (1).

$$MBCV = (p \times y) - \sum_1^i (cv_i \times q_i) \quad (1)$$

où :

MBVC : marge bénéficiaire sur coût variable

p : le prix des citrouilles ou des graines de citrouille;

y : le rendement en citrouilles ou en graines de citrouille;

cvi : le coût variable unitaire de l'intrant i;

qi : la quantité utilisée de l'intrant i

Par la suite, la transformation mathématique consiste à isoler de l'équation (1) la composante de prix, tel que dans l'équation (2). Dans cette équation, les MCVB référence sont celles des grandes cultures et en horticulture, selon que l'on calcule le prix cible pour les graines ou pour les fruits (CRAAQ, 2005a à 2005 g)². Ces MCVB référence sont présentées au tableau 21 ci-dessous.

$$\text{Prix cible (\$/t)} = \frac{\text{MBCV référence (\$/ha)} + \text{Coûts variables (\$/ha)}}{\text{Rendement (t/ha)}} \quad (2)$$

Tableau 21. MBCV référence

Cultures	MCVB référence (\\$/ha) Indexées 2015
Brocoli biologique	1 027
Carotte biologique	2 613
Chou vert biologique	12 751
Fraises biologiques	2 237
Laitue biologique	3 716
Oignon biologique	7 723
Moyenne des MCVB en horticulture biologique	5 011
Grandes cultures biologiques	1 238

5.2.2 Coûts variables

Cette section présente certaines informations relatives au calcul des coûts variables. Selon l'intrant concerné, l'information utilisée provenait des données agronomiques émanant du projet et, dans d'autres cas, de références externes au projet, notamment les Références

² Ces références économiques sont indexées avec l'indice de prix des entrées en agriculture (IPEA) et avec l'indice de prix des produits agricoles (IPPA) publiés par Statistiques Canada.

économiques du Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec (CRAAQ)³. L'autre référence externe importante est le fabricant européen de machinerie et d'équipement qui a fourni sa liste de prix et de spécifications techniques de ses machineries et équipement aux fins du calcul des coûts de récolte-égrenage et de conditionnement.

5.2.2.1 Approvisionnements

Pour les coûts de fertilisation, de semences, de transplants, de traitement de semence et de biofongicides, ceux-ci sont tous calculés à partir des données agronomiques du projet (ex. : taux d'application, taux de semis, etc.) et des prix obtenus des fournisseurs. Concernant la chaux, ces coûts sont aussi considérés, mais une certaine réserve s'impose. Selon les références économiques du CRAAQ utilisées, le coût annuel de la chaux est parfois divisé par trois⁴ et parfois non. Or, le coût de la chaux est davantage un coût d'entretien de la terre et à cet effet, il faut davantage voir ce frais comme un coût fixe que l'on ne peut attribuer à une culture en particulier. Ce coût a tout de même été gardé dans notre analyse à des fins de comparaison avec les MCVB de référence, dans lesquelles le coût de la chaux est retenu. Finalement, un approvisionnement a été considéré pour la production de fruits particulièrement, c'est-à-dire le coût des contenants, lequel est très important dans plusieurs productions horticoles.

5.2.2.2 Opérations culturales

Les opérations culturales sont celles qui ont été effectuées dans le projet. Pour ce qui est des références de coût de ces opérations, elles proviennent toutes du CRAAQ (2007, 2014), sauf pour la récolte et le conditionnement.

Concernant l'opération de prégermination, le coût de celle-ci est difficile à évaluer dans un contexte expérimental, comparativement au contexte de production. Dans ce projet, ce coût était simplement composé de l'achat de la vermiculite et du coût de main-d'œuvre. Le coût final de prégermination considéré est très faible (voir annexes) et il a été impossible de valider cet item avec d'autres références.

Les coûts de récolte-égrenage des citrouilles et de conditionnement ont été calculés à partir de l'information fournie par le fabricant européen, notamment les prix et les spécifications techniques (ex. : capacité effective). Dans ce calcul, nous avons considéré le coût de transport des machineries et des équipements, en plus du taux de change entre le dollar canadien et l'euro. Cela a permis de calculer la valeur qu'auraient ces machineries et équipements au Québec et à partir de cette valeur, le coût de possession a été établi selon la méthode DIRTÀ (CRAAQ, 2012)⁵. Les autres coûts de récolte-égrenage et de conditionnement (ex. : carburant, coût d'énergie, etc.) ont été calculés grâce à l'outil d'évaluation produit à cette fin à l'IRDA (Pelletier, 2014).

Cela étant dit, les coûts de récolte-égrenage et de conditionnement ne sont pas inclus dans le calcul du prix cible à la ferme, mais sont rapportés à la section sur les résultats de façon séparée. Il en est ainsi, car il est proposé que la production de citrouille biologique soit introduite au Québec en mode d'intégration verticale, à l'image du secteur des fruits et légumes de

³ Pour les Références économiques qui ne sont pas suffisamment récentes, les données sont indexées avec l'IPEA publié par Statistiques Canada.

⁴ Pour tenir compte du fait que la chaux serait appliquée aux trois ans.

⁵ DIRTÀ : Dépréciation, Intérêts, Réparations, Taxes, Assurances.

transformation. Dans le modèle de ce secteur, le producteur ne prend pas en charge certaines opérations culturales. Cette proposition est développée plus en détail dans la section Discussion.

5.2.2.3 Frais de mise en marché et autres coûts

Dans le cas de la production de fruits, les frais de mise en marché incluent les frais de transport, de lavage, de triage et de classification des citrouilles. La référence pour le calcul de ces coûts est la production de courge Butternut (CRAAQ, 2007). Dans le cas de la production de graine, aucun frais de mise en marché n'est considéré en raison du système de production proposée, soit l'intégration verticale, où le producteur ne prend pas en charge ces frais. Enfin, les intérêts à court terme constituent les autres coûts (CRAAQ, 2007).

5.3 Résultats

Les résultats sont présentés en résumé dans les tableaux 22 et 23 ci-dessous. Ces tableaux présentent les coûts variables totaux, les sous-totaux par catégorie de coût et finalement, les prix cibles. Les calculs détaillés sont présentés aux annexes 1 et 2.

5.3.1 Production de graines

Tableau 22. Résultats économiques - Production de graines de citrouille

Parcelles	P1 - Graines transplantées	P2 - Graines traitées à l'OCC	P3 - Graines prégermées
Rendements en graines sèches (kg/ha)	1 062	234	574
Total des coûts variables (\$/ha)	5 072	2 592	2 789
<i>Sous-total – approvisionnements</i>	<i>4 097</i>	<i>2 043</i>	<i>2 179</i>
<i>Sous-total – opérations culturales</i>	<i>924</i>	<i>498</i>	<i>559</i>
<i>Sous-total – autres coûts</i>	<i>51</i>	<i>51</i>	<i>51</i>
Prix cibles (\$/kg)	5,94	16,37	7,02

Concernant la production de graines, les résultats montrent que le total des coûts variables varient d'environ 3 000 \$/ha jusqu'à plus de 5 000 \$/ha. C'est le traitement de la transplantation qui affiche les coûts variables les plus élevés, justement en raison du coût des transplants qui s'élèvent à un peu plus de 2 000 \$/ha (annexe 1). Cela dit, les rendements beaucoup plus élevés du traitement en transplantation offrent les meilleures perspectives en termes de prix cible, et ce, en dépit des coûts variables qui sont aussi plus élevés. Lorsque la culture est transplantée, les rendements sont quatre fois plus élevés que dans le traitement avec les graines traitées à l'oxychlorure de cuivre (OCC) et du double du rendement lorsque la semence est prégermée. Les prix cibles sont donc de 5,94, 7,02 et 16,37 \$/kg respectivement pour les traitements avec transplantation, avec prégermination et avec OCC. Dans Boisclair et al. (2013), il était mentionné que le coût d'importation était de 6,00 ou de 10,00 \$/kg, selon l'origine des graines de citrouille. Alors, la production de citrouilles biologiques pour les graines au Québec présenterait une faisabilité. Or, il y avait une certaine incertitude sur certains postes de dépenses, notamment les coûts de récolte-égrenage. De plus, l'information la plus récemment obtenue est à l'effet que le coût d'importation des gaines de citrouille biologiques provenant de la Chine a substantiellement diminué, mais que ce n'est pas le cas pour ce qui est du produit importé de l'Europe. Il faut préciser que puisque les variétés mises à l'essai dans ce projet sont des variétés

cultivées en Europe, c'est le produit européen que la production québécoise devrait concurrencer.

Comme on peut le constater au tableau 22, les coûts de récolte-égrenage et de conditionnement n'y sont pas inclus. Or, ces coûts ont tout de même été évalués. Les coûts de récolte-égrenage et de conditionnement sont évalués séparément, car tel que mentionné précédemment, il est proposé que la production de citrouilles biologiques produites pour la graine pourrait adopter le modèle de production du secteur des fruits et légumes de transformation. Dans ce modèle, l'acheteur ou un de ses contractants prend en charge la récolte et le conditionnement du produit et cela est pris en compte dans le prix payé au producteur. Les coûts de récolte et de conditionnement sont présentés dans le tableau 23 ci-dessous.

Tableau 23. Coûts de récolte-égrenage et de conditionnement des graines de citrouille biologiques.

Opérations	Coûts (\$/ha)
Récolte-égrenage (\$/ha)	
Récolteuse	315
Andaineuse	59
<i>Sous-total</i>	<i>374</i>
Conditionnement (\$/ha)	
Transport de la ferme au poste de conditionnement	15 ^a
Lavage et séchage	135 ^b
<i>Sous-total</i>	<i>150</i>
Total	524

^a 20 \$/tonne x (750 kg/ha ÷ 1 000 kg/ha)

^b 0,18 \$/kg x 750 kg = 135 \$/ha

Pour arriver à ces résultats, le calculateur de coûts des opérations culturales de l'IRDA (Pelletier, 2014) a permis d'évaluer les coûts de récolte-égrenage. Celui-ci s'établit à 374 \$/ha, ce qui peut paraître très élevé⁶. Or si l'on compare avec une récolte qui affiche une capacité effective comparable, ce résultat est réaliste. En effet, comparativement à la récolte de citrouille pour les graines affichant une capacité effective de 1,1 ha/heure, la récolte de pomme de terre coûte 355 \$/ha avec une capacité effective de 1,32 ha/heure. De plus, si l'on retient une hypothèse de rendement de 750 kg/ha, soit une valeur moyenne entre les deux meilleurs rendements affichés au tableau 21, le coût de récolte équivaut alors à 0,41 \$/kg.

Concernant les coûts de conditionnement, il faut faire une hypothèse sur la quantité de graines de citrouille à conditionner au total annuellement. En retenant que la récolteuse effectue au total 100 heures de récolte et en considérant une capacité effective de 1,1 ha/heure et un rendement de 750 kg/ha, la production totale s'établit à 82 500 kg. Selon la méthode DIRT, le coût de possession d'une laveuse et d'un séchoir pour les graines de citrouille s'élève à 3 507 et 11 622 \$/an respectivement. Le coût de conditionnement avant les coûts énergétiques revient donc à 0,18 \$/kg. Pour ce qui est des coûts énergétiques, ceux-ci ont été calculés et s'avèrent

⁶ Selon les *Références économiques* du CRAAQ, les coûts de récolte dépassent rarement 200 \$/ha dans les productions maraîchères.

insignifiants lorsqu'ils sont rapportés par kg de graines de citrouille (< 0,01 \$/kg) et donc, ils ne sont pas pris en compte. Il faut aussi considérer un coût de transport de la ferme au poste de conditionnement. Présentement, le coût de transport des grains est de 10,00 \$/tonne (Lafrance, 2016). Afin d'être conservateurs, en raison du faible volume de graines de citrouilles biologiques qui serait produit, nous retenons plutôt un coût de transport de 20,00 \$/tonne, ou 0,02 \$/kg.

Les coûts de conditionnement s'élèvent donc au total à 0,61 \$/kg. En les additionnant aux prix cibles du tableau 21, les prix cibles finaux sont alors de 6,55, 7,63 et 16,98 \$/kg respectivement pour les traitements avec transplantation, avec prégermination et avec OCC. Pour les traitements avec transplantation et avec prégermination, et en regard du coût d'importation de la graine de citrouille biologique en provenance de l'Europe, il semble donc que ces options demeurent réalistes pour voir l'implantation de la production de citrouille biologique au Québec. Toutefois, d'autres éléments seraient éventuellement à examiner avant l'implantation de cette nouvelle culture et ces éléments sont présentés à la section Discussion.

5.3.2 Production de fruits

Les résultats de l'analyse relativement à la production de citrouilles biologiques pour les fruits apparaissent au tableau 24. On y remarque tout d'abord que les coûts variables sont beaucoup élevés que pour la production de graines. Cette différence s'explique par trois postes de dépenses, soit les coûts des contenants, les coûts de récolte manuelle et les frais de mise en marché (annexe 2). À eux seuls, les coûts de contenants représentent de 50 à 65 % des coûts en approvisionnements (voir annexe 2). Les coûts de récolte manuelle accaparent quant à eux de 48 à 62 % des coûts d'opérations culturales. Enfin, les coûts de mise en marché sont composés du coût de transport et du coût de conditionnement des fruits (lavage, triage, classification).

Tableau 24. Résultats économiques - Production de fruits.

Parcelles	P1 - Graines transplantées	P2 - Graines traitées à l'OCC	P3 - Graines prégermées
Rendements en fruits (kg/ha)	59 548	18 250	35 046
Total des coûts variables (\$/ha)	18 030	6 563	10 416
<i>Sous-total – approvisionnements</i>	<i>10 876</i>	<i>4 120</i>	<i>6 169</i>
<i>Sous-total – opérations culturales</i>	<i>2 422</i>	<i>957</i>	<i>1 441</i>
<i>Sous-total – mise en marché</i>	<i>4 682</i>	<i>1 435</i>	<i>2 755</i>
<i>Sous-total – autres coûts</i>	<i>51</i>	<i>51</i>	<i>51</i>
Prix cibles (\$/kg)	0,39	0,63	0,44

À nouveau, ce sont les traitements en transplantation et les traitements en prégermination qui présentent les meilleures perspectives de rentabilité. De plus, les prix cibles estimés dans la présente analyse sont passablement meilleurs que dans l'analyse précédente (Boisclair et al., 2013), alors que les prix cibles se situaient plutôt autour de 1,00 \$/fruit. Cette différence s'explique principalement par des rendements plus élevés obtenus dans les essais du présent projet, comparativement au projet précédent.

5.4 Discussion

La production de citrouille biologique est une culture encore absente au Québec, mais qui présente le potentiel d'y être implanté. Pour en évaluer la faisabilité, des prix cibles sont évalués et ils sont comparés au coût d'importation. Lors d'une première analyse (Boisclair et al., 2013),

le coût d'importation se situait à 6,00 \$/kg pour la graine de citrouille biologique provenant de la Chine et 10,00 \$/kg pour le produit venant d'Europe. Depuis ce temps, la valeur du dollar canadien a considérablement diminué, rendant potentiellement le coût d'importation aussi plus élevé. Toutefois, l'information récemment obtenue sur les coûts d'importation indique que le produit provenant de la Chine a substantiellement diminué, alors que le coût importé de l'Europe est demeuré sensiblement le même. Dans ce contexte les prix cibles évalués dans le cas des traitements avec transplantation et avec prégermination, à 6,55 et 7,63 \$/kg respectivement, semblent présenter une faisabilité intéressante comparativement aux graines de citrouille biologiques importées de l'Europe. En retour, la production québécoise ne serait pas concurrentielle avec les importations chinoises. Toutefois, selon les préférences des acheteurs en termes de qualité du produit, la production de graines de citrouille biologique produites au Québec pourrait demeurer concurrentielle, du moment que les acheteurs privilégient les caractéristiques du produit européen.

En dépit de cette faisabilité, l'implantation d'une nouvelle culture à la ferme présente des risques. Dans ce contexte, un producteur seul ne serait pas tenté d'acquérir les machines et les équipements de récolte-égrenage et de conditionnement. Aussi, on peut penser qu'un modèle d'intégration semblable à celui qui prévaut dans le secteur des fruits et légumes de transformation serait une solution à privilégier. Ce modèle permettrait une meilleure gestion du risque pour le producteur, en réduisant ses coûts fixes, et à l'acheteur en lui assurant un approvisionnement régulier du fait que plusieurs producteurs seraient incités à produire. Cependant, pour que ce modèle fonctionne tous les acteurs de la chaîne doivent convenir des détails de ce modèle.

Par ailleurs, d'autres éléments devraient être analysés plus en profondeur avant de considérer l'implantation de la culture de citrouille biologique au Québec. En premier lieu, un coût n'a pas été considéré dans la présente analyse et il s'agit du coût de certification biologique. En général, ce coût se calcule à partir d'un montant fixe de base auquel s'ajoute un coût variant selon le revenu de l'entreprise et donc, de son volume de production. Il est évidemment impossible d'évaluer ses coûts présentement puisque la culture n'est pas encore présente. Or, si une initiative collective entre les producteurs et un ou des acheteurs était lancée pour étudier l'implantation de la citrouille biologique au Québec, ceux-ci auraient à vérifier auprès des organismes de certification le niveau de coût de certification qui serait acceptable pour tous.

Finalement, un autre élément à considérer est relatif au conditionnement et au rejet des eaux de lavage qu'il peut générer. Si ces eaux de lavage devaient requérir un traitement avant rejet, cela augmenterait le coût de conditionnement et réduirait possiblement la capacité concurrentielle de toute la filière.

6. CONCLUSION

Les expérimentations en chambre de croissance ont démontré que la meilleure stratégie pour augmenter la levée est la prégermination. Dans le cadre de nos essais en chambre de croissance, l'utilisation de biofongicides n'a pas donné de résultats probants justifiant la poursuite de leur utilisation dans notre expérimentation au champ. Aucun symptôme de phytotoxicité n'a été observé lors des essais en chambre de croissance. Les semences enrobées de différentes doses d'oxychlorure de cuivre et semées dans le champ ont donné des pourcentages de germination variant entre 31,1 et 53,5 % en 2014, et entre 5,5 et 17,2 % en 2015. Ce même traitement de semences a aussi été donné de piètres résultats en chambre de croissance avec des pourcentages de germination variant de 3,4 à 22 %.

La comparaison des trois modes d'implantation (transplantation, semences enrobées à l'OCC et semences prégermées) a par la suite démontré l'avantage de l'utilisation de transplants pour plusieurs raisons. Étant donné que la levée des plantules a été faible et inégale pour les deux types de semis effectués au champ en 2015, un sarclage mécanique efficace n'a pas été possible dans ces deux traitements vu l'inégalité des plants. La compétition avec les mauvaises herbes a par conséquent été plus importante dans les semis. L'incidence du flétrissement bactérien a résulté en des pourcentages de 23,26 %, 46,67 % et 23,08 % pour les traitements « transplants », « semences enrobées à l'OCC » et « semences prégermées » respectivement.

Les rendements en graines ont été significativement plus élevés pour le traitement « transplants » (1 062 kg/ha) comparativement à 234 et 574 kg/ha pour les traitements « semences enrobées à l'OCC » et « semences prégermées » respectivement. Avec de tels rendements, il semble à première vue, qu'il soit plus rentable d'opter pour la transplantation pour ce type de production, et ce malgré des coûts d'opération plus élevés qui puissent freiner l'adoption de ce mode d'implantation. De plus, un éventuel manque de maturité des plants provenant des deux semis peut également devenir une préoccupation en cas de gel automnal hâtif.

Avec des transplants, le rendement en graines dépasse la tonne à l'hectare dans notre expérimentation. Ce rendement est comparable aux rendements obtenus en Autriche (Styrie), en Slovénie et dans l'ouest de la Hongrie (Bavec et al. 2007). Les rendements dans ces zones productrices de graines de citrouille varient entre 500 et 800 kg/ha, atteignant jusqu'à 1 200 kg/ha dépendamment des conditions climatiques, du système de production, de la pression des mauvaises herbes et des maladies.

Finalement, l'analyse économique indique que la production biologique de graines de citrouille présente un potentiel au Québec, et ce plus spécifiquement à partir de transplants. Un modèle d'intégration comme celui bien établi dans le secteur de la transformation des fruits et légumes serait une solution à privilégier pour le développement de cette production au Québec. Ce modèle permettrait une meilleure gestion du risque pour le producteur, en réduisant ses coûts fixes, et à l'acheteur en lui assurant un approvisionnement régulier du fait que plusieurs producteurs seraient incités à produire. Cependant, pour que ce modèle fonctionne tous les acteurs de la chaîne doivent convenir des détails de ce modèle.

7. RÉFÉRENCES

Bavec, F., S. Grobelnik Mlakar, C. Rozman et M. Bavec. 2007. Oil pumpkins: Niche for organic producers. In : Issues in new crops and new uses. Eds: J. Janick et A. Whipkey. ASHS Press, Alexandria, VA. p.185-189.

Bavec F., L. Gril, S. Grobelnik-Mlakar et M. Bavec. 2002. Seedling of oil pumpkins as an alternative to seed sowing: yield and production costs. *Bodenkultur*. 53: 39-43.

Boisclair, J., E. Lefrançois, M. Leblanc, L. Belzile, G. Richard et M. Grenier. 2013. *Production biologique de graines de citrouille comme aliment fonctionnel pour le marché de la collation et de la transformation*. Rapport final déposé au CDAQ. 77 p. et annexes.

Centre de références en agriculture et agroalimentaire du Québec (CRAAQ) :

- 2005a. Brocoli biologique - AGDEX 252.19/821. CRAAQ. 4 p.
- 2005 b. Carotte biologique - AGDEX 252.19/821d. CRAAQ. 5 p.
- 2005c. Chou vert biologique - AGDEX 252.19/821b. CRAAQ. 4 p.
- 2005d. Entreprise céréalière biologique - AGDEX 111.19/821. CRAAQ. 9 p.
- 2005e. Fraise biologique - AGDEX 232.19/821b. CRAAQ. 5 p.
- 2005f. Laitue biologique - AGDEX 251.19/821h. CRAAQ. 4 p.
- 2005g. Oignon biologique - AGDEX 258.19/821j. CRAAQ. 5 p.
- 2007. Courge *Butternut* transplantée avec paillis - Budget - Légumes en terre minérale (AGDEX 256/821b). CRAAQ, 3 pages.
- 2012. Évaluation - Machinerie et bâtiment (AGDEX 824/825b). CRAAQ, 8 pages.
- 2014. Machinerie - Coûts d'utilisation et taux à forfait suggérés (AGDEX 740/825). CRAAQ, 25 pages.

Lafrance, É. 2016 (communication personnelle, novembre 2016)

Pelletier F. 2014. Calculateur de coûts des opérations culturales. Institut de recherche et de développement en agroenvironnement. Chiffrier électronique.

8. REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier Isabelle Couture, agr., M.Sc., Conseillère en production maraîchère, MAPAQ - Direction régionale de la Montérégie, secteur Est, Gérard Gilbert, agr., phytopathologiste, MAPAQ - Laboratoire de diagnostic en phytoprotection, tous les ouvriers et nombreux stagiaires et étudiants de l'IRDA qui ont participé au projet ainsi que les fournisseurs ayant contribué au projet.



ANNEXE 1 - BUDGET DE PRODUCTION DE GRAINES

	Parcelles	P1 - Graines transplantées	P2 - Graines traitées à l'OCC	P3 - Graines pré-germées
Rendements				
Rendements	Graines sèches (kg/ha)	1 062,00	234,00	574,00
Coûts variables				
Approvisionnements				
Fertilisation - 1ère application d'Acti-Sol	Taux d'application (t/ha) Coût (\$/t) Coût (\$/ha)	1,60 380,00		
		608,00	608,00	608,00
Fertilisation - 2e application d'Acti-Sol	Taux d'application (t/ha) Coût (\$/t) Coût (\$/ha)	0,70 380,00		
		266,00	266,00	266,00
Chaux	Taux d'application (t/ha) Coût (\$/t) Coût (\$/ha)	1,00 46,00		
		46,00	46,00	46,00
Semences (Styriaca)	Taux de semis (grains/ha) Poids semence (grains/kg) Coût unitaire (\$/kg) Coût (\$/ha)	 5 060,00 180,00	16 000 16 000	16 000 16 000
		569,17	569,17	569,17
Transplants	Coût unitaire (\$/plant) Coût (\$/ha)	0,13		
		2 055,56		
Copper spray (Oxycloreure de cuivre) - Enrobage	Taux d'application (kg OCC/kg) Coût unitaire (\$/kg OCC) Coût (\$/ha)	0,02 24,00		
			1,14	
Surround WP (kaolin) - Enrobage	Taux d'application (kg Surround/kg) Coût unitaire (\$/kg) Coût (\$/ha)	0,03 5,52		
			0,49	
Surround WP (kaolin) - Phytoprotection	Nombre d'application Taux d'application (kg/ha) Coût unitaire (\$/kg) Coût (\$/ha)	 25,00 5,52	4 4	5 5
		552,00	552,00	690,00
Total des approvisionnements		4 096,73	2 042,79	2 179,17

Opérations culturales					
Fertilisation - Acti-sol					
Applications (2x)	Coût (\$/ha)	5,34	10,68	10,68	10,68
Incorporation (vibroculteur)	Coût (\$/ha)	11,25	11,25	11,25	11,25
Transplantation (mécaniquement)					
Main-d'œuvre	Durée (hr/ha)	25,58			
	Coût (\$/ha)		383,76		
Semis des graines (mécaniquement)					
	Coût (\$/ha)	19,14		19,14	19,14
Pré-germination					
Vermiculite	Coût (\$/ha)	24,00			24,00
Main-d'œuvre	Durée (hr/ha)	2,00			
	Coût (\$/ha)				30,00
Pulvérisation - Surround					
	Coût unitaire (\$/application)	7,03			
	Coût (\$/ha)		28,12	28,12	35,15
Travail du sol					
Herse-étrille	Coût (\$/ha)	5,05	5,05	5,05	5,05
Sarcleur à dents (3x)	Coût (\$/ha)	14,34	43,02	43,02	43,02
Vibroculteur (2x)	Coût (\$/ha)	11,25	22,50	22,50	22,50
Disque renhausseur (2x)	Coût (\$/ha)	25,48	50,96	50,96	50,96
Cultivateur (faux semis)	Coût (\$/ha)	10,40	10,40	10,40	10,40
Offset	Coût (\$/ha)	23,93	23,93	23,93	23,93
Désherbage sur les rangs (manuellement)					
	Durée (hr/ha)	18,20			
	Coût (\$/ha)		273,00	273,00	273,00
Total des opérations culturales			924,27	498,05	559,08
Autres coûts					
Intérêt CT	Coût (\$/ha)	51,00	51,00	51,00	51,00
Total des autres coûts			51,00	51,00	51,00
Total coûts variables (\$/ha)			5 072,00	2 591,84	2 789,25
Prix cible (\$/kg)			5,94	16,37	7,02

ANNEXE 2 - BUDGET DE PRODUCTION DE FRUITS

			Parcelles	P1 - Graines transplantées	P2 - Graines traitées à l'OCC	P3 - Graines pré-germées
Rendements						
Rendements	Fruits (kg/ha)			59 548,00	18 250,00	35 046,00
Rendements	Fruits (citrouille/ha)			14 000	3 200	7 500
Poids moyens	Fruits (kg/citrouille)			4,25	5,70	4,67
Coûts variables						
Approvisionnement						
Fertilisation - 1ère application d'Acti-Sol	Taux d'application (t/ha)	1,60				
	Coût (\$/t)	380,00				
	Coût (\$/ha)			608,00	608,00	608,00
Fertilisation - 2e application d'Acti-Sol	Taux d'application (t/ha)	0,70				
	Coût (\$/t)	380,00				
	Coût (\$/ha)			266,00	266,00	266,00
Chaux	Taux d'application (t/ha)	1,00				
	Coût (\$/t)	46,00				
	Coût (\$/ha)			46,00	46,00	46,00
Semences (Styriaca)	Taux de semis (grains/ha)			16 000	16 000	16 000
	Poids semence (grains/kg)	5 060,00				
	Coût unitaire (\$/kg)	180,00				
	Coût (\$/ha)			569,17	569,17	569,17
Transplants	Coût unitaire (\$/plant)	0,13				
	Coût (\$/ha)			2 055,56		
Copper spray (Oxyclore de cuivre) - Enrobage	Taux d'application (kg OCC/kg grain)	0,02				
	Coût unitaire (\$/kg OCC)	24,00				
	Coût (\$/ha)				1,14	
Surround WP (kaolin) - Enrobage	Taux d'application (kg Surround/kg)	0,03				
	Coût unitaire (\$/kg)	5,52				
	Coût (\$/ha)				0,49	
Surround WP (kaolin) - Phytoprotection	Nombre d'application			4	4	5
	Taux d'application (kg/ha)	25,00				
	Coût unitaire (\$/kg)	5,52				
	Coût (\$/ha)			552,00	552,00	690,00
Contenants (boîte de 35 lbs)	Quantité (boîtes/ha)			3 743,02	1 147,14	2 202,89
	Coût unitaire (\$/boîte)	1,81				
	Coût (\$/ha)			6 778,97	2 077,59	3 989,65
Total des approvisionnements				10 875,70	4 120,38	6 168,82

Opérations culturales						
Fertilisation - Acti-sol						
Applications (2x)	Coût (\$/ha)	5,34	10,68	10,68	10,68	
Incorporation (vibroculteur)	Coût (\$/ha)	11,25	11,25	11,25	11,25	
Transplantation (mécaniquement)	Coût (\$/ha)	61,60	61,60			
Main-d'œuvre	Durée (hr/ha)	25,58				
	Coût (\$/ha)		383,76			
Semis des graines (mécaniquement)	Coût (\$/ha)	19,14		19,14	19,14	
Pré-germination						
Vermiculite	Coût (\$/ha)	24,00			24,00	
Main-d'œuvre	Durée (hr/ha)	2,00				
	Coût (\$/ha)				30,00	
Pulvérisation - Surround	Coût unitaire (\$/application)	7,03				
	Coût (\$/ha)		28,12	28,12	35,15	
Travail du sol						
Herse-étrille	Coût (\$/ha)	5,05	5,05	5,05	5,05	
Sarcleur à dents (3x)	Coût (\$/ha)	14,34	43,02	43,02	43,02	
Vibroculteur (2x)	Coût (\$/ha)	11,25	22,50	22,50	22,50	
Disque renhausseur (2x)	Coût (\$/ha)	25,48	50,96	50,96	50,96	
Cultivateur (faux semis)	Coût (\$/ha)	10,40	10,40	10,40	10,40	
Offset	Coût (\$/ha)	23,93	23,93	23,93	23,93	
Désherbage sur les rangs (manuellement)	Durée (hr/ha)	18,20				
	Coût (\$/ha)		273,00	273,00	273,00	
Récolte (manuellement)	Durée (hr/ha)		99,86	30,61	58,77	
	Coût (\$/ha)		1 497,93	459,08	881,58	
Total des opérations culturales			2 422,20	957,13	1 440,66	
Mise en marché						
Transport	Coût (\$/boîte)	0,50				
	Coût (\$/ha)		1 871,51	573,57	1 101,45	
Lavage, triage et classification (manuellement)	Durée (hr/ha)		187,34	57,41	110,25	
	Coût (\$/ha)		2 810,07	861,22	1 653,82	
Total de la mise en marché			4 681,58	1 434,79	2 755,27	
Autres coûts						
Intérêt CT	Coût (\$/ha)	51,00	51,00	51,00	51,00	
Total des autres coûts			51,00	51,00	51,00	
Total des coûts variables (\$/ha)			18 030,48	6 563,30	10 415,75	
Prix cibles (\$/kg)			0,39	0,63	0,44	