



Évaluation technico-économique d'une gestion raisonnée de l'irrigation dans la culture du haricot extra-fin

RAPPORT FINAL

Rapport présenté à la :
**Fédération québécoise des producteurs de
fruits et légumes de transformation
(FQPFLT)**

Projet CDAQ # : 6561
Projet IRDA # : 500 091

Rapport élaboré par :
**Paul Deschênes, agr., M.Sc.
Carl Boivin, agr., M.Sc.
Luc Belzile, agr., économiste, M.Sc.**

Décembre 2013



Institut de recherche
et de développement
en agroenvironnement

Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC) s'est engagé à travailler avec des partenaires de l'industrie. Les opinions exprimées dans le présent document sont celles du demandeur et ne sont pas nécessairement partagées par AAC et le CDAQ.

Une partie du financement de ce projet a été assurée par Agriculture et Agroalimentaire Canada, par l'entremise du Programme canadien d'adaptation agricole (PCAA). Au Québec, la part destinée au secteur de la production agricole est gérée par le Conseil pour le développement de l'agriculture du Québec.



Agriculture et
Agroalimentaire Canada

Agriculture and
Agri-Food Canada

L'Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA) est une corporation de recherche à but non lucratif, constituée en mars 1998 par quatre membres fondateurs, soit le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation (MAPAQ), l'Union des producteurs agricoles (UPA), le ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP) et le ministère du Développement économique, de l'Innovation et de l'Exportation (MDEIE).



Notre mission

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

Pour en savoir plus

www.irda.qc.ca

Le rapport peut être cité comme suit :

Deschênes, P., C. Boivin et L. Belzile. 2013. *Évaluation technico-économique d'une gestion raisonnée de l'irrigation dans la culture du haricot extra-fin*. Rapport final remis à la Fédération québécoise des producteurs de fruits et légumes de transformation. IRDA. 36 p.

Équipe de réalisation du projet :

| | |
|---|---|
| Répondant et responsable scientifique : | Carl Boivin ¹ |
| Chargé de projet : | Paul Deschênes ¹ |
| Collaborateurs : | Daniel Bergeron ² , Stéphane Nadon ¹ , Jessy Caron ¹ (2012), Jérémie Vallée ¹ , Michèle Grenier ¹ , Judith Lupien ³ , Honorine Samson ⁵ , Mélissa Gagnon ⁴ , Mélodie Juteau ⁵ (2011-2012) et Pierre Mauny ⁴ . |

Fermes participantes :

| | |
|--------------------------------------|-----------------------------------|
| Les Jardins Ducharme | David et Germain Ducharme |
| Ferme Jean Forest et fils | Pascal et Philippe Forest |
| Productions Maraîchères Mailhot inc. | Marcel Mailhot et Julien Gauthier |

Étudiants d'été IRDA: Arianne Blais Gagnon, Mireille Dubuc, Simon Gagnon, Paul Harrison, Antoine Lamontagne, Sarah Lussier, Alain Marcoux, Anne Tremblay-Gratton, Julien Vachon et Nicolas Watters.

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

Carl Boivin
Institut de recherche et de développement
en agroenvironnement (IRDA)
2700, rue Einstein
Québec (Québec) G1P 3W8

Téléphone : 418 643-2380 #430
Télécopie : 418 644-6855
Courriel : carl.boivin@irda.qc.ca

¹ Institut de recherche et de développement en agroenvironnement

² Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ), Direction régionale Capitale Nationale

³ Fédération québécoise des producteurs de fruits et légumes de transformation

⁴ MAPAQ, Direction régionale Montréal-Laval-Lanaudière

⁵ Bonduelle Amérique du Nord

Remerciements :

Une partie du financement de ce projet a été assurée par Agriculture et Agroalimentaire Canada, par l'entremise du Programme canadien d'adaptation agricole (PCAA). Au Québec, la part de ce programme destinée au secteur de la production agricole est gérée par le Conseil pour le développement de l'agriculture du Québec.

TABLE DES MATIÈRES

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | RÉSUMÉ..... | 1 |
| 2 | DESCRIPTION DU PROJET..... | 3 |
| 2.1 | Introduction | 3 |
| 2.2 | Objectif général | 3 |
| 2.3 | Objectifs spécifiques..... | 3 |
| 3 | MATÉRIEL ET MÉTHODE | 4 |
| 3.1 | Sites expérimentaux..... | 4 |
| 3.2 | Matériel végétal et régie de culture | 4 |
| 3.3 | Traitements | 4 |
| 3.4 | Dispositif expérimental et analyses statistiques | 5 |
| 3.5 | Collecte des données | 5 |
| 3.5.1 | Caractérisation du site | 5 |
| 3.5.2 | Conditions météorologiques..... | 6 |
| 3.5.3 | Tension et teneur en eau volumique du sol dans les parcelles expérimentales..... | 6 |
| 3.5.4 | Stades phénologiques et recouvrement végétal..... | 6 |
| 3.5.5 | Contenu en matière sèche des plants..... | 7 |
| 3.5.6 | Récolte..... | 7 |
| 4 | RÉSULTATS ET ANALYSE..... | 8 |
| 4.1 | Résultats obtenus et analyse en fonction des objectifs spécifiques | 8 |
| 4.1.1 | Développer une gestion raisonnée de l'irrigation dans une perspective de développement durable | 8 |
| 4.1.2 | Déterminer les besoins de réserve en eau et les équipements nécessaires à l'irrigation..... | 13 |
| 4.1.3 | Vérifier si l'approche par bilan hydrique peut s'avérer intéressante à intégrer à la gestion tensiométrique..... | 15 |
| 4.1.4 | Évaluer la rentabilité de l'irrigation pour les producteurs de haricots extra-fins..... | 15 |
| 4.1.5 | Résultats sols sableux..... | 16 |
| 4.1.6 | Résultats sols argileux..... | 17 |
| 4.1.7 | Efficacité d'utilisation de l'eau d'irrigation (EUEI) | 17 |
| 4.1.8 | Volet technico-économique..... | 20 |
| 4.2 | Diffusion des résultats au 31 décembre 2013 | 24 |
| 5 | Conclusion..... | 25 |
| 6 | Bibliographie | 27 |
| 7 | Annexe | 29 |

LISTE DES FIGURES

| | |
|--|----|
| Figure 1. Évolution temporelle de la tension de l'eau du sol des parcelles (35 % RU) du cultivar <i>Anger</i> du 19 juillet au 3 août 2012..... | 13 |
| Figure 2. Évolution temporelle de la teneur en eau volumique du sol des parcelles (35 % RU) du cultivar <i>Maritime</i> du 19 juillet au 3 août 2012. | 13 |
| Figure 3. Sonde de teneur en eau volumique CWS655 (Campbell Scientific). | 29 |
| Figure 4. Station d'acquisition et de transmission des données des sondes CWS655 (Campbell Scientific)..... | 29 |
| Figure 5. Tensiomètre HORTAU, modèle Tx-80. | 30 |
| Figure 6. Pluviométrie et température minimale, maximale et moyenne mesurées quotidiennement au site Sainte-Mélanie 2011..... | 31 |
| Figure 7. Pluviométrie et température moyenne mesurées quotidiennement au site Saint-Jacques-de-Montcalm 2011..... | 31 |
| Figure 8. Pluviométrie et température minimale, maximale et moyenne mesurées quotidiennement au site Sainte-Mélanie 2012..... | 32 |
| Figure 9. Pluviométrie mesurée quotidiennement au site Saint-Alexis-de-Montcalm 2012. | 32 |
| Figure 10. Pluviométrie mesurée quotidiennement au site Saint-Alexis-de-Montcalm 2013. | 33 |
| Figure 11. Pluviométrie et température minimale, maximale et moyenne mesurées quotidiennement au site Sainte-Mélanie 2013..... | 33 |

LISTE DES TABLEAUX

| | |
|---|------|
| Tableau 1. Cultivars, dates de semis et de récolte selon les sites et la saison. | 4 |
| Tableau 2. Pourcentage de recouvrement moyen par date d'observation en fonction de la saison, du type de sol, du cultivar et du traitement (%). | 10 |
| Tableau 3. Évolution temporelle des stades phénologiques en terme de nombre de jours après semis (JAS) selon la saison et le site. | 11 |
| Tableau 4. Texture et densité apparente du sol et principaux points de références de la courbe de désorption en eau du sol selon la saison et le site. | 12 |
| Tableau 5. Apports en eau par l'irrigation et par la pluie selon la saison, le site et le traitement. . | 14 |
| Tableau 6. Rendements et qualité de la récolte selon la saison, le site et le traitement. | 19 |
| Tableau 7. Rendements de référence en haricots (kg/ha)..... | 21 |
| Tableau 8. Résultats économiques des essais d'irrigation dans la culture d'haricots extra-fins selon la saison, le site et le traitement..... | 23 |
| Tableau 9. Résultats des poids moyens en masse sèche des parties aériennes des plants selon la saison, le site et le traitement (g). | 34 |
| Tableau 10. Paramètres et données de l'analyse technico-économique. | 35 - |

1 RÉSUMÉ

L'horticulture québécoise se doit d'être concurrentielle en raison, notamment, de la disponibilité sur le marché de produits de qualité à prix très compétitifs en provenance des États-Unis, du Mexique et des pays émergents. Cette compétitivité passe entre autres par le développement de nouvelles cultures, l'amélioration des techniques de production et par une utilisation optimale des ressources. Le développement d'une régie d'irrigation raisonnée adaptée aux spécificités du haricot extra-fin et des conditions culturelles québécoises, ainsi que la démonstration de la faisabilité technico-économique de l'irrigation dans cette culture sont nécessaires pour y parvenir.

Pour chacune des trois saisons (2011 à 2013), les dispositifs expérimentaux étaient situés sur des sols de type sableux et argileux afin de comparer les régies d'irrigation pour chacun de ces derniers. Au total, quatre cultivars ont pu être utilisés (*Blavet*, *Anger*, *Denver* et *Maritime*), cependant leur distinction au travers des différents résultats ne s'applique qu'aux cultivars *Anger*, *Denver* et *Maritime* pour les saisons 2012 et 2013.

En termes de résultats, les saisons 2011 et 2012 ont été similaires. Les deux régies d'irrigation (50 et 35 % RU) se sont révélées efficaces pour améliorer les rendements et la qualité des haricots cultivés sur un sol de type sableux, toutefois sans démontrer de différences entre elles. Pour la saison 2013, les rendements n'ont pas été différents pour le cultivar *Anger*, oscillants entre 15 et 19 t/ha. Les rendements du cultivar *Denver* ont été significativement supérieurs avec l'apport d'eau d'irrigation comparativement au témoin non irrigué. Les résultats obtenus en sol de type argileux n'ont démontré aucune différence pour l'ensemble des traitements, irrigués ou non. La pratique de l'irrigation dans ce type de sol pour la culture du haricot extra-fin de 2011 à 2013 ne semble donc apporter aucun avantage, tant au niveau des rendements que de la qualité.

Une gestion de l'irrigation par bilan hydrique a pu être testée pour le site sableux lors de la saison 2013. Avec cette dernière méthode, un nombre identique d'épisodes d'irrigation a été généré comparativement à la gestion de l'irrigation par tensiométrie, utilisée dans ce projet. La méthode du bilan hydrique peut s'avérer intéressante pour les productions extensives, comme celle du haricot extra-fin, considérant leur revenu par unité de surface qui ne pourrait justifier l'achat de nombreux tensiomètres requis pour une régie d'irrigation en temps réel. Par contre, un modèle basé principalement sur des données météorologiques et qui ne tient compte que d'une estimation du statut hydrique du sol pourrait conduire à des biais importants. Une approche hybride, qui considérerait le bilan hydrique pour gérer l'irrigation, associée à un nombre limité de mesures tensiométriques en temps réel du statut hydrique du sol, permettrait de gérer de grandes superficies de façon plus efficace en réunissant les avantages des deux approches.

Sur la base des résultats agronomiques du projet et de certaines hypothèses au regard des coûts et des revenus en plus, les résultats de la budgétisation partielle montrent qu'il serait avantageux, dans la plupart des cas en culture sur sable, d'implanter l'irrigation dans la culture des haricots extra-fins. Aussi, les résultats montrent que la prime de prix de 5 % pour la production irriguée prévue dans la convention de mise en marché de la Fédération québécoise des producteurs de fruits et légumes de transformation (FQPFLT) devrait être amplement suffisante pour inciter les producteurs à adopter l'irrigation dans cette production. Les différentiels de rendement sont

particulièrement déterminants, dans l'ensemble, pour procurer des soldes de rentabilité qui militent pour l'utilisation de l'irrigation dans la production de haricots extra-fins. Cependant, en 2011 pour la consigne d'irrigation à 50 % de RU, seul le scénario où les coûts fixes de l'irrigation seraient alloués à 33 % à la production de haricots extra-fins offrirait des perspectives de rentabilité. Il en est de même en 2013, pour la même consigne d'irrigation, si les coûts fixes sont alloués à 100 % à la production de haricots extra-fins. Ces résultats tendent à démontrer que dans le cas d'un producteur qui acquerrait un système d'irrigation par aspersion expressément pour la production de haricots extra-fins, il faudrait espérer un gain de rendement d'environ 20 %. Dans le cas où les coûts fixes d'irrigation peuvent être partagés avec d'autres productions, un gain de rendement d'environ 15 % devrait suffire.

2 DESCRIPTION DU PROJET

2.1 Introduction

L'horticulture québécoise se doit d'être concurrentielle en raison, notamment, de la disponibilité sur le marché de produits de qualité à prix très compétitifs en provenance des États-Unis, du Mexique et des pays émergents. Cette compétitivité passe entre autres par le développement de nouvelles cultures, l'amélioration des techniques de production et par une utilisation optimale des ressources. Le développement d'une régie d'irrigation raisonnée adaptée aux spécificités du haricot extra-fin et des conditions culturelles québécoises, ainsi que la démonstration de la faisabilité technico-économique de l'irrigation dans cette culture sont nécessaires pour y parvenir.

Alors que l'irrigation n'est utilisée que chez quelques producteurs, les connaissances sur la gestion de celle-ci sont fragmentaires. Pour être raisonnée, la gestion de l'irrigation se doit d'être basée sur des valeurs de référence relatives à la consigne de déclenchement et d'arrêt du système d'irrigation qui considèrent, entre autres, le développement de la culture et les propriétés physiques du sol en culture. Les résultats de ce projet permettront d'identifier des valeurs de référence et fourniront les outils nécessaires pour les adapter à différentes conditions culturelles. Ainsi, les consignes proposées pour gérer les épisodes d'irrigation correspondront à une proportion de la réserve en eau utile du sol qui peut être convertie en une valeur de tension de l'eau dans le sol. Ainsi, l'outil utilisé pour obtenir ces valeurs sera le tensiomètre. Ce dernier est fiable et adapté au contexte de la production commerciale. De plus, la démarche proposée intégrera la caractérisation de certaines propriétés physiques du sol impliquées dans la compréhension des valeurs de tension lues par le tensiomètre.

2.2 Objectif général

Déterminer la stratégie d'irrigation optimum dans la culture du haricot extra-fin afin de soutenir le développement de cette production et de promouvoir une agriculture durable en participant à l'avancement des connaissances favorisant l'établissement de bonnes pratiques culturelles des points de vue environnemental, agronomique et économique.

2.3 Objectifs spécifiques

1. Développer une gestion raisonnée de l'irrigation dans une perspective de développement durable;
2. Déterminer les besoins de réserve en eau et les équipements nécessaires à l'irrigation;
3. Vérifier si l'approche par bilan hydrique peut s'avérer intéressante à intégrer à la gestion tensiométrique;
4. Évaluer la rentabilité de l'irrigation pour les producteurs de haricots extra-fins.

3 MATÉRIEL ET MÉTHODE

3.1 Sites expérimentaux

Les dispositifs expérimentaux étaient situés dans des champs en production commerciale de haricots extra-fins chez trois producteurs maraîchers. Ces entreprises, Les Jardins Ducharme (2011 à 2013), Ferme Jean Forest et fils (2011) et Productions Maraîchères Mailhot (2012-2013), sont localisées respectivement à Sainte-Mélanie (Québec), Saint-Jacques-de-Montcalm (Québec) et Saint-Alexis-de-Montcalm (Québec) dans la région de Lanaudière. Les sols où les dispositifs expérimentaux ont été établis sont un sable de la série Uplands à Sainte-Mélanie et une argile de la série Sainte-Rosalie à Saint-Jacques-de-Montcalm et Saint-Alexis-de-Montcalm.

3.2 Matériel végétal et régie de culture

Les cultivars utilisés pour les expérimentations sont présentés au Tableau 1. Hormis les apports en eau par l'irrigation, la régie de culture était celle du producteur et sous sa responsabilité (travail du sol, implantation, fertilisation et traitements phytosanitaires).

Tableau 1. Cultivars, dates de semis et de récolte selon les sites et la saison.

| Saison | Ste-Mélanie | | | St-Jacques | | | St-Alexis | | |
|--------|---------------|-----------|---------|---------------|--------|---------|-----------------|-----------|----------|
| | Cultivar | Semis | Récolte | Cultivar | Semis | Récolte | Cultivar | Semis | Récolte |
| 2011 | <i>Denver</i> | 28 juin | 30 août | <i>Blavet</i> | 3 juin | 2 août | | | |
| | <i>Anger</i> | 5 juillet | 9 sept | | | | | | |
| 2012 | <i>Denver</i> | 27 juin | 31 août | | | | <i>Maritime</i> | 22 juin | 20 août |
| | <i>Anger</i> | 27 juin | 4 sept | | | | | | |
| 2013 | <i>Denver</i> | 10 juin | 12 août | | | | <i>Denver</i> | 9 juillet | 20 sept. |
| | <i>Anger</i> | 10 juin | 12 août | | | | | | |

3.3 Traitements

Dans le cadre de ce projet, deux traitements d'irrigation élaborés en fonction de la réserve en eau utile du sol (RU) sont étudiés. Les épisodes d'irrigation sont déclenchés lorsque 50 % (traitement 1) ou 35 % (traitement 2) de la RU est épuisée. Le traitement 3 est un témoin non irrigué (TEM). Ces traitements ont été les mêmes pour l'ensemble du projet. Les volumes d'eau d'irrigation étaient appliqués avec à des gicleurs Xcel-Wobbler® buse #12 rouge angle moyen (Senninger Irrigation Inc.).

3.4 Dispositif expérimental et analyses statistiques

Le design du dispositif expérimental utilisé pour l'ensemble des sites est un plan en blocs complets aléatoires avec trois traitements et quatre blocs pour un total de 12 unités expérimentales ou parcelles. Deux sites par saison ont été utilisés chez chaque producteur, à l'exception d'un site à Saint-Alexis-de-Montcalm en 2012 avec le cultivar *Maritime*. Au total, 132 parcelles expérimentales ont donc été étudiées.

L'analyse statistique de 2011 est une analyse de la variance (ANOVA) en fonction du type de sol correspondant aux entreprises agricoles. L'analyse statistique de 2012 et 2013 est la même que celle effectuée en 2011, à la différence qu'elle était fonction de chacun des cultivars étant donné les possibles différences physiologiques entre eux, les fortes disparités entre les textures des sols observées des différents sites utilisés et les différentes dates de semis. De cette manière des conclusions peuvent être tirées pour chacun des cultivars, car l'effet de ce dernier est conservé. L'analyse de la proportion de haricots de chaque classe de calibres, pour les saisons 2012 et 2013, a été effectuée par un modèle de régression logistique multinomiale grâce à la procédure GLIMMIX de SAS et la fonction de lien logit cumulée. Ce modèle tient compte du caractère multinomial de la variable de classement « calibre » et de l'effet aléatoire des blocs. Il permet de comparer les traitements au moyen des rapports de cotes (odds ratio).

3.5 Collecte des données

3.5.1 Caractérisation du site

Des analyses de sol ont été réalisées sur des échantillons composites prélevés dans la strate de sol 0-20 cm dans chacune des parcelles. Les sols ont été tamisés à 2 mm puis séchés à l'air à 21 °C. La granulométrie a été déterminée par la méthode de l'hydromètre en six points suivis d'un tamisage des sables (Gee et Bauder, 1986). Le pH_{eau} a été mesuré dans un rapport sol/eau 1:1 (Conseil des Productions Végétales du Québec, 1988). Le contenu en matière organique (MO) totale a été mesuré selon la méthode d'oxydation par voie humide de Walkley Black (Allison, 1965). Le N_{tot}, préalablement extrait par digestion Kjeldahl, a été déterminé par colorimétrie sur autoanalyseur Technicon (McGill et Figueiredo, 1993). Le P et les éléments mineurs ont été extraits dans une solution Mehlich-3 (Tran et Simard, 1993) et dosés à l'ICP optique. Des échantillons de sol non perturbé ont également été prélevés dans chacun des blocs afin d'établir en laboratoire les courbes de désorption en eau des sols (Topp et al., 1993). L'information obtenue de ces courbes a permis de caractériser certaines propriétés physiques du sol, servant entre autres à identifier les consignes d'irrigation relatives aux différents traitements.

3.5.2 Conditions météorologiques

La pluviométrie (pluviomètre HOBO, modèle RG3-M) a été mesurée tout au long des saisons (Figures 6 à 11 présentées en annexe) ainsi que la température et l'humidité relative de l'air ambiant avec des acquiseurs de données HOBO Pro v2 (modèle U23-001). Des stations météorologiques, situées aux sites de Saint-Jacques (2011) et de Sainte-Mélanie (2012-2013), ont permis de mesurer la température et l'humidité relative (HC2-S3, Campbell Scientific), la radiation solaire (LI-200SZ, LI-COR) ainsi que la vitesse et la direction du vent (Wind monitor, Young Model 05103-10). Les données sont enregistrées à chaque heure sur un acquiseur de données CR1000 (Campbell Scientific).

3.5.3 Tension et teneur en eau volumique du sol dans les parcelles expérimentales

La tension de l'eau dans le sol de chacune des parcelles expérimentales a été mesurée tout au long du projet avec des tensiomètres Hortau (modèle Tx-80 et Tx3) (Figure 5 présentée en annexe) afin de gérer les épisodes d'irrigation pour les sites de Sainte-Mélanie et Saint-Jacques. Toutes ces données étaient enregistrées en temps réel dans un ordinateur à l'aide du logiciel Irrolis-Light (version 1.9) de Hortau, afin d'effectuer des analyses quant à l'efficacité des différents traitements d'irrigation. La gestion de l'irrigation au site de Saint-Alexis-de-Montcalm (2012-2013) s'est effectuée par l'observation de la teneur en eau volumique du sol grâce à des sondes TDR sans fil (CWS655, Campbell Scientific) (Figure 3 présentée en annexe). Ces données étaient enregistrées à une fréquence de 15 minutes. La raison expliquant cette différence de méthode de gestion de l'irrigation s'explique par la texture du sol retrouvé au site de Saint-Alexis-de-Montcalm. En effet, la texture de ce sol est à forte concentration d'argile, rendant le maintien du bon fonctionnement des tensiomètres fastidieux. Cette situation a été constatée en 2011 au site de Saint-Jacques-de-Montcalm où un sol semblable était présent et a justifié cet ajustement pour la saison 2012.

3.5.4 Stades phénologiques et recouvrement végétal

Dès la semaine suivant le semis, un suivi hebdomadaire des stades phénologiques et du recouvrement végétal a été entrepris. Le stade phénologique était déterminé en observant les plants d'une zone prédéterminée d'une longueur de 1,4 m, localisée au même endroit pour toutes les parcelles. Des stades phénologiques spécifiques ont fait l'objet d'un suivi selon l'échelle BBCH (Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt and Chemical industry). Cette échelle utilise différentes étapes évolutives physiologiques attribuables à plusieurs cultures. À chacun des stades phénologiques correspond une valeur numérique, une gradation numérique est ainsi obtenue entre deux étapes évolutives voisines. En 2011, les stades phénologiques observés étaient la germination, les feuilles, les pousses latérales, les inflorescences et l'ouverture des fleurs qu'elles portent ainsi que les fruits. Pour les saisons 2012 et 2013, les observations étaient limitées aux stades de germination, feuilles, floraison et fruits. Cette modification a été motivée par l'absence de différence sur l'évolution de ces stades entre les traitements. L'observation de l'évolution des plants de chacune des parcelles a été faite hebdomadairement. Ces stades étaient évalués en fonction de leur proportion observable dans la zone de suivi. Cette même zone

permettait d'évaluer le recouvrement du sol par le couvert végétal de la culture. Au pourtour du rang de haricots était déposé un cadre dont la surface intérieure est de 1 m². Cette aire était photographiée à raison d'une fois par semaine afin d'évaluer le taux de croissance végétative des plants.

3.5.5 Contenu en matière sèche des plants

Bihebdomadairement, dès la semaine suivant le semis, le contenu en matière sèche des plants a été évalué. Pour ce faire, 5 plants consécutifs, dans une zone prédéterminée de la parcelle, ont été prélevés, puis séchés à 105 °C, pour être finalement pesés.

3.5.6 Récolte

Au terme de la production, les récoltes finales ont été effectuées. Pour chacune des parcelles, les plants de deux mètres linéaires de rang ont été prélevés. Cette distance correspondait à environ une trentaine de plants. Ces 2 m étaient constitués de quatre sections de 0,5 m choisies aléatoirement à l'intérieur de la parcelle. Les plants des parcelles ont été pesés à l'état frais. Tous les haricots ont ensuite été détachés de leur plant et pesés à l'état frais. Les plants étaient ensuite séchés à 105 °C et de nouveau pesés. Ensuite, un sous échantillon de 700 g était composé à partir des haricots récoltés par parcelle. Les haricots du sous échantillon étaient classés selon leur diamètre (<5 mm, entre 5 et 6,5 mm, >6,5 mm), pesés et de nouveau regroupés. Ces derniers étaient cuits dans un autocuiseur 180 secondes dès que la pression interne de l'autocuiseur dépassait les 11,8 PSI. Ensuite, 100 g de haricots étaient prélevés pour détecter la présence de fil (en réalisant un test de traction) et 500 g pour évaluer le ratio grains/gousse (ouvrir chaque gousse et en retirer les graines pour ensuite peser les graines et les gousses séparément et en calculer le rapport).

4 RÉSULTATS ET ANALYSE

4.1 Résultats obtenus et analyse en fonction des objectifs spécifiques

4.1.1 Développer une gestion raisonnée de l'irrigation dans une perspective de développement durable

Afin d'établir une régie d'irrigation raisonnée, une connaissance approfondie du développement de la culture est nécessaire. Plusieurs paramètres de croissance ont donc été observés au cours de la saison de croissance, du semis à la récolte.

Toutefois, les résultats permettent de décrire l'évolution des plants dans le temps pour chacune des saisons. Ces résultats sont présentés selon le nombre de jours après le semis (JAS) (Tableau 3). Ces derniers n'ont pas fait l'objet d'une analyse statistique.

Un nombre limité de différences est observable en 2012 pour le nombre de jours après le semis entre les différents traitements d'un même cultivar. Ces différences sont présentes pour les cultivars *Denver* et *Maritime*, mais seulement pour les stades phénologiques retrouvés vers la fin de l'échelle BBCH, soit les premières gousses visibles et 50 % des gousses à leur longueur finale. Pour le cultivar *Denver*, sept jours supplémentaires ont été nécessaires avec le traitement 50 % RU pour une observation, sur au moins la moitié des plants des parcelles, de 50 % des gousses ayant atteint une longueur finale. Les différences observables avec le cultivar *Maritime* se retrouvent lors de l'apparition des premières gousses visibles. Ces dernières apparaissent à 41, 43 et 47 JAS pour les traitements 50 % RU, TEM et 35 % RU respectivement. L'évolution des stades phénologiques des cultivars *Anger* et *Denver* a été similaire, exception faite d'une période plus courte pour l'obtention de la longueur finale de 50 % des gousses par les traitements 35 % RU et TEM du cultivar *Denver*. Cette similitude peut s'expliquer par des dates de semis, des conditions climatiques et des sols identiques. La croissance des plants du cultivar *Maritime* s'est distinguée comparativement aux deux autres cultivars. Des périodes plus longues sont observées pour l'atteinte des trois premiers stades phénologiques, pour ensuite observer une période plus courte lors de l'identification des premières gousses visibles ainsi que la longueur finale de 50 % des gousses. Ces différences peuvent s'expliquer en partie par des sols à caractéristiques physiques très différentes ainsi qu'une différence de cinq jours entre les dates de semis. Une expression des caractères physiologiques propre à chaque cultivar n'est pas à exclure. En 2013, aucune différence entre les traitements n'a pu être observée pour les cultivars. Les variations observées peuvent s'expliquer par la réponse physiologique des cultivars aux types de sol et aux conditions climatiques différentes entre les sites expérimentaux.

L'évolution de la masse sèche aérienne de cinq plants par parcelle a été analysée. L'échantillonnage s'est fait à plusieurs reprises durant la saison (4 fois pour 2011 et 2012, 3 fois pour 2013) où une période de 2 semaines séparait chacun des prélèvements. Les résultats sont présentés au Tableau 9 en annexe. L'analyse statistique des résultats de 2011 ne révèle aucune différence significative de masse sèche entre les traitements pour une même date, peu importe le site, mais révèle des différences entre les masses sèches des différentes dates (site sableux $P =$

0,0437 et site argileux $P = 0,0481$). Une tendance est toutefois observable au site sableux. En effet, suite au 4 août, les valeurs de masses sèches du témoin croissent de façon moins importante comparativement aux deux traitements irrigués. Les valeurs de masses sèches en 2012 démontrent également des différences significatives entre les dates de prélèvement, signifiant une évolution marquée des cultures, tous cultivars confondus. Des différences significatives entre les masses sèches moyennes des traitements 35 % RU et 50 % RU n'ont été observées qu'avec le cultivar *Maritime*, uniquement pour le prélèvement fait le 20 août. Il faut mentionner que ce dernier a été comptabilisé grâce aux plants de la récolte finale, soit le poids moyen de 25 à 40 plants récoltés, dépendamment des parcelles, au lieu des 5 normalement prélevés. Les valeurs de masse sèche étaient différentes entre les trois traitements lors du dernier prélèvement de la saison 2013 (24 juillet). Ces valeurs étaient de 3,06 g (50 % RU), 3,99 g (35 % RU) et 3,59 g (TEM). Ces valeurs ne correspondent cependant pas aux rendements observés, qui sont, eux aussi, différents entre les traitements considérant que le témoin a produit les rendements les plus faibles.

Les valeurs de recouvrement sont présentées au Tableau 2. Une tendance évidente s'illustre quant à l'effet de l'irrigation sur la croissance du couvert végétal. En effet, pour chaque saison et chaque cultivar, une différence de valeur de la proportion de recouvrement est présente entre le témoin et les traitements avec irrigation. Cette différence augmente en fonction du temps et démontre l'effet bénéfique des irrigations sur la croissance des plants de haricots. Cette tendance moyenne est généralisée sur l'ensemble de la durée du projet.

Tableau 2. Pourcentage de recouvrement moyen par date d'observation en fonction de la saison, du type de sol, du cultivar et du traitement (%).

| Saison | Sol | Cultivar | Date | Traitement | | |
|-------------------|-------------------|--------------|--------------------|--------------|--------------|--------------|
| | | | | 50 % RU | 35 % RU | TEM |
| 2011 | Sable | Denver | Moy. Saison | 46,15 | 45,88 | 39,88 |
| | | | Moy. Champ | 49,80 | 49,93 | 43,20 |
| | | | 2011-07-06 | 1,94 | 2,00 | 1,90 |
| | | | 2011-07-13 | 8,99 | 8,66 | 8,04 |
| | | | 2011-07-20 | 11,18 | 11,22 | 9,84 |
| | | | 2011-07-27 | 27,83 | 26,63 | 24,83 |
| | | | 2011-08-02 | 56,83 | 55,26 | 44,01 |
| | | | 2011-08-10 | 81,29 | 83,55 | 69,98 |
| | | | 2011-08-19 | 81,96 | 80,66 | 76,83 |
| | | | 2011-08-26 | 91,30 | 91,86 | 82,52 |
| | | | 2011-08-30 | 86,84 | 89,51 | 79,24 |
| | | | Moy. Champ | 50,82 | 48,20 | 40,45 |
| | | | 2011-07-13 | 2,43 | 2,09 | 1,97 |
| | | | 2011-07-20 | 6,83 | 6,67 | 6,00 |
| | 2011-07-27 | 19,98 | 18,53 | 16,88 | | |
| | 2011-08-02 | 41,68 | 38,06 | 32,71 | | |
| | 2011-08-10 | 72,55 | 71,23 | 52,30 | | |
| | 2011-08-19 | 81,64 | 72,28 | 71,24 | | |
| | 2011-08-26 | 92,64 | 89,58 | 76,95 | | |
| | 2011-08-30 | 88,82 | 87,19 | 76,19 | | |
| | Moy. Champ | 38,49 | 37,68 | 37,68 | | |
| | 2011-06-14 | 3,23 | 3,39 | 1,75 | | |
| | 2011-06-21 | 3,68 | 3,83 | 3,42 | | |
| | 2011-07-06 | 30,22 | 27,88 | 26,41 | | |
| | 2011-07-13 | 54,34 | 43,38 | 45,28 | | |
| | 2011-07-20 | 56,46 | 55,58 | 54,65 | | |
| | 2011-07-27 | 60,24 | 59,38 | 61,17 | | |
| | 2011-08-02 | 61,30 | 58,36 | 63,98 | | |
| Moy. Champ | 43,62 | 45,31 | 36,98 | | | |
| 2011-06-14 | 2,81 | 1,98 | 2,67 | | | |
| 2011-06-21 | 4,13 | 4,19 | 4,31 | | | |
| 2011-07-06 | 31,08 | 31,79 | 29,17 | | | |
| 2011-07-13 | 53,77 | 53,53 | 51,79 | | | |
| 2011-07-20 | 57,73 | 63,86 | 57,58 | | | |
| 2011-07-27 | 67,04 | 71,61 | 62,63 | | | |
| 2011-08-02 | 68,34 | 68,53 | 63,81 | | | |

| Saison | Sol | Cultivar | Date | Traitement | | |
|--------------------|--------------------|--------------|--------------------|--------------|--------------|--------------|
| | | | | 50 % RU | 35 % RU | TEM |
| 2012 | Sable | Anger | Moy. Saison | 56,47 | 57,86 | 49,62 |
| | | | Moy. Champ | 58,20 | 57,35 | 51,17 |
| | | | 2012-07-11 | 3,92 | 3,85 | 4,09 |
| | | | 2012-07-19 | 16,30 | 16,24 | 14,22 |
| | | | 2012-07-25 | 26,45 | 26,18 | 24,15 |
| | | | 2012-08-02 | 59,14 | 56,61 | 49,41 |
| | | | 2012-08-08 | 76,61 | 77,22 | 64,63 |
| | | | 2012-08-16 | 93,21 | 91,18 | 83,93 |
| | | | 2012-08-22 | 94,88 | 93,83 | 86,82 |
| | | | 2012-08-31 | 95,10 | 93,69 | 82,15 |
| | | | Moy. Champ | 62,63 | 62,87 | 53,35 |
| | | | 2012-07-11 | 3,68 | 3,11 | 2,84 |
| | | | 2012-07-19 | 14,84 | 14,79 | 11,83 |
| | | | 2012-07-25 | 29,64 | 28,90 | 24,92 |
| | 2012-08-02 | 61,40 | 62,73 | 55,70 | | |
| | 2012-08-08 | 81,99 | 83,75 | 67,20 | | |
| | 2012-08-16 | 92,92 | 90,52 | 87,57 | | |
| | 2012-08-22 | 94,73 | 95,18 | 91,85 | | |
| | 2012-08-31 | 96,59 | 95,26 | 88,04 | | |
| | 2012-09-04 | 87,86 | 91,56 | 68,38 | | |
| | Moy. Champ | 46,56 | 51,99 | 43,31 | | |
| | 2012-07-11 | 9,97 | 8,92 | 8,90 | | |
| | 2012-07-19 | 22,53 | 21,93 | 21,83 | | |
| | 2012-07-25 | 34,45 | 36,22 | 31,78 | | |
| | 2012-08-02 | 49,54 | 59,60 | 41,36 | | |
| | 2012-08-08 | 59,73 | 66,35 | 54,12 | | |
| | 2012-08-16 | 69,14 | 83,54 | 69,72 | | |
| | 2012-08-20 | 80,55 | 87,37 | 75,47 | | |
| | Moy. Saison | 48,53 | 49,61 | 47,21 | | |
| | 2012-06-26 | 3,96 | 3,96 | 4,03 | | |
| | 2012-07-18 | 40,48 | 45,12 | 39,20 | | |
| | 2012-07-31 | 63,46 | 68,30 | 62,48 | | |
| | Moy. Champ | 43,25 | 47,46 | 43,73 | | |
| | 2013-07-03 | 5,81 | 6,73 | 6,44 | | |
| | 2013-07-24 | 52,66 | 60,36 | 53,89 | | |
| | 2013-08-09 | 71,27 | 75,31 | 70,85 | | |
| | Moy. Champ | 57,14 | 57,10 | 56,09 | | |
| | 2013-07-31 | 9,15 | 12,05 | 12,08 | | |
| 2013-08-09 | 37,71 | 38,70 | 38,47 | | | |
| 2013-08-13 | 43,58 | 43,07 | 43,90 | | | |
| 2013-08-22 | 75,01 | 73,16 | 70,61 | | | |
| 2013-09-05 | 87,02 | 86,26 | 83,32 | | | |
| 2013-09-16 | 90,40 | 89,35 | 88,13 | | | |
| Moy. Champ | 57,77 | 54,69 | 53,78 | | | |
| 2013-07-31 | 10,79 | 10,14 | 8,16 | | | |
| 2013-08-09 | 36,68 | 32,93 | 31,86 | | | |
| 2013-08-13 | 38,72 | 40,10 | 36,03 | | | |
| 2013-08-22 | 76,01 | 66,11 | 74,89 | | | |
| 2013-09-05 | 90,38 | 90,62 | 82,85 | | | |
| 2013-09-16 | 94,01 | 88,24 | 88,86 | | | |
| Moy. Totale | 50,03 | 50,73 | 45,15 | | | |

Tableau 3. Évolution temporelle des stades phénologiques en terme de nombre de jours après semis (JAS) selon la saison et le site.

| Saison | Sol | Cultivar | Date de semis | Traitement | Développement des stades (JAS) | | | | | | | | | |
|--------|-----------------|-----------------|---------------|------------|---------------------------------|---|----------------------------------|---|--------------------------------|----------------------------------|-----------------|------------------|------------------------|-------------------------------|
| | | | | | 2 ^e feuilles étalées | 1 ^{ère} feuille trifoliée étalée | 1 ^{ère} pousse latérale | 2 ^e feuille trifoliée étalée | 2 ^e pousse latérale | Pétales visibles, boutons fermés | Fleurs ouvertes | Pleine floraison | 1 ^{er} gousse | 50 % gousses longueurs finale |
| 2011 | Argile | <i>Blavet</i> | 3 juin | | 11 | 18 | 18 | 33 | 33 | 40 | 40 | 47 | 47 | 54 |
| | Sable (champ 1) | <i>Denver</i> | 28 juin | | 8 | 15 | 15 | 22 | 22 | | | 43 | 43 | 52 |
| | Sable (champ 2) | <i>Anger</i> | 5 juillet | | 8 | 15 | 15 | 22 | 22 | 36 | 36 | 45 | 45 | 56 |
| 2012 | Sable | <i>Anger</i> | 27 juin | 50 % RU | 8 | | | 22 | | | | | 50 | 65 |
| | | | | 35 % RU | 8 | | | 22 | | | | | 50 | 65 |
| | | | | TEM | 8 | | | 22 | | | | | 50 | 65 |
| | Argile | <i>Maritime</i> | 22 juin | 50 % RU | 13 | 19 | | 27 | | | | | 41 | 55 |
| | | | | 35 % RU | 13 | 19 | | 27 | | | | 47 | 55 | |
| | | | | TEM | 13 | 19 | | 27 | | | | 43 | 55 | |
| 2013 | Sable | <i>Anger</i> | 10 juin | 50 % RU | 16 | 23 | | 31 | | | 38 | | 44 | |
| | | | | 35 % RU | 16 | 23 | | 31 | | | 38 | 44 | | |
| | | | | TEM | 16 | 23 | | 31 | | | 38 | 44 | | |
| | Argile | <i>Denver 1</i> | 9 juillet | 50 % RU | 15 | | | 22 | | 42 | | | | 58 |
| | | | | 35 % RU | 15 | | | 22 | | 42 | | | 58 | |
| | | | | TEM | 15 | | | 22 | | 42 | | | 58 | |
| Argile | <i>Denver 2</i> | 9 juillet | 50 % RU | 15 | | | 22 | | 42 | | | | 58 | |
| | | | 35 % RU | 15 | | | 22 | | 42 | | | 58 | | |
| | | | TEM | 15 | | | 22 | | 42 | | | 58 | | |

La gestion de l'irrigation était effectuée par un suivi de la tension (kPa) de l'eau dans le sol. Cette mesure correspond au potentiel matriciel, soit les forces d'adhésion physique des particules de sol sur l'eau. Une tension sera qualifiée de nulle lorsque le sol est saturé d'eau. L'eau est alors libre et sera transportée en profondeur par la force gravitationnelle. Inversement à cette dernière situation, lorsque la teneur en eau d'un sol diminue, la tension augmente. Cette relation n'est cependant pas linéaire, il est donc utile, pour connaître la capacité de rétention en eau d'un sol, de faire la courbe de désorption mettant en relation la teneur en eau volumique (cm^3 d'eau par cm^3 de sol ou %) et la tension (kPa). Ces courbes sont propres à chaque sol et sont, entre autres, fonction de la structure et de la texture du sol, du taux de débris et du taux de matière organique (Allaire, 2006). Les données principales des courbes de désorption des différents sols rencontrés pour les trois saisons sont présentées ci-dessous (Tableau 4). Grâce à cette courbe, il est possible de déterminer la teneur en eau aux points de flétrissement temporaire et permanent (PFT et PFP) (100 et 1500 kPa respectivement), ainsi qu'à la capacité au champ (CC). La capacité au champ réelle est facilement mesurable par l'emploi de tensiomètres. La tension de l'eau dans le sol doit être lue 24 à 48 heures suivant des précipitations, ou épisodes d'irrigation, ayant saturées le sol et en absence de perte en eau par évaporation ou prélèvement par la culture. Cette période est nécessaire au lessivage de l'eau libre en profondeur afin de considérer uniquement le volume d'eau retenu dans la matrice du sol. Une telle évolution de la tension est présentée à la Figure 1. Dans cet exemple, la valeur de CC est d'environ 7,5 kPa. La réserve en eau utile du sol (RU) correspond au volume d'eau accessible au le système racinaire et que ce dernier peut prélever. La RU est donc le volume d'eau compris de la CC au PFP. En fonction d'une profondeur de sol représentant la profondeur d'enracinement de la culture, et d'une surface d'une parcelle ou d'un champ cultivé, un volume d'eau correspondant à la RU ou une fraction de celle-ci peut être connu et utilisé comme régie d'irrigation. Dans ce projet, un épisode d'irrigation était déclenché lorsque 50 ou 35 % de la RU était épuisée, dépendamment du traitement d'irrigation.

La gestion de l'irrigation des plants de haricots cultivés sur les sites argileux était effectuée par un suivi de la teneur en eau volumique du sol. Tel que mentionné précédemment, la RU peut être mesurée avec la courbe de désorption de manière à connaître les valeurs de teneur en eau volumique auxquelles déclencher un épisode d'irrigation. Une période d'évolution de la teneur en eau volumique est présentée à la Figure 2.

Tableau 4. Texture et densité apparente deu sol et principaux points de références de la courbe de désorption en eau du sol selon la saison et le site.

| Saison | Sol | Cultivar | Date prélèvement | Texture | Densité apparente | Saturation | 33 kPa | 100 kPa | 1500 kPa |
|-----------------|--------|-----------------|------------------------|--------------------------------------|----------------------------|------------|----------------------------------|---------|----------|
| | | | | | (g/cm^3) | | (%)(cm^3/cm^3) | | |
| 2011 | Argile | <i>Blavet</i> | 03-août | LOAM SABLO-ARGILEUX | 1,60 | 40,4 | 27,0 | 24,8 | 13,9 |
| | | <i>Blavet</i> | 03-août | ARGILE SABLEUSE | 1,36 | 47,9 | 33,7 | 31,0 | 16,6 |
| | Sable | <i>Denver</i> | 03-août | SABLE | 1,46 | 46,0 | 15,3 | 14,7 | 4,4 |
| | | <i>Anger</i> | 03-août | SABLE LOAMEUX | 1,48 | 50,8 | 9,8 | 9,3 | 3,4 |
| 2012 | Sable | <i>Denver</i> | 01-mai | SABLE/SABLE LOAMEUX | 1,47 | 46,7 | 12,8 | 12,4 | 3,9 |
| | | <i>Anger</i> | 01-mai | SABLE LOAMEUX | 1,24 | 57,0 | 13,1 | 12,9 | 6,6 |
| | Argile | <i>Maritime</i> | 01-mai | LOAM ARGILEUX | 1,40 | 45,8 | 31,1 | 29,3 | 15,7 |
| | Argile | <i>Denver 1</i> | 29-avr | LOAM ARGILEUX - LOAM LIMONO ARGILEUX | 1,52 | 45,5 | 38,5 | 36,9 | 22,6 |
| <i>Denver 2</i> | | 29-avr | ARGILE - LOAM ARGILEUX | 1,51 | 48,0 | 38,7 | 37,8 | 23,1 | |
| 2013 | Sable | <i>Anger</i> | 29-avr | SABLE - SABLE GROSSIER | 1,38 | 45,5 | 16,0 | 15,2 | 5,3 |
| | | <i>Denver</i> | 29-avr | SABLE | 1,32 | 50,3 | 15,5 | 14,7 | 4,6 |

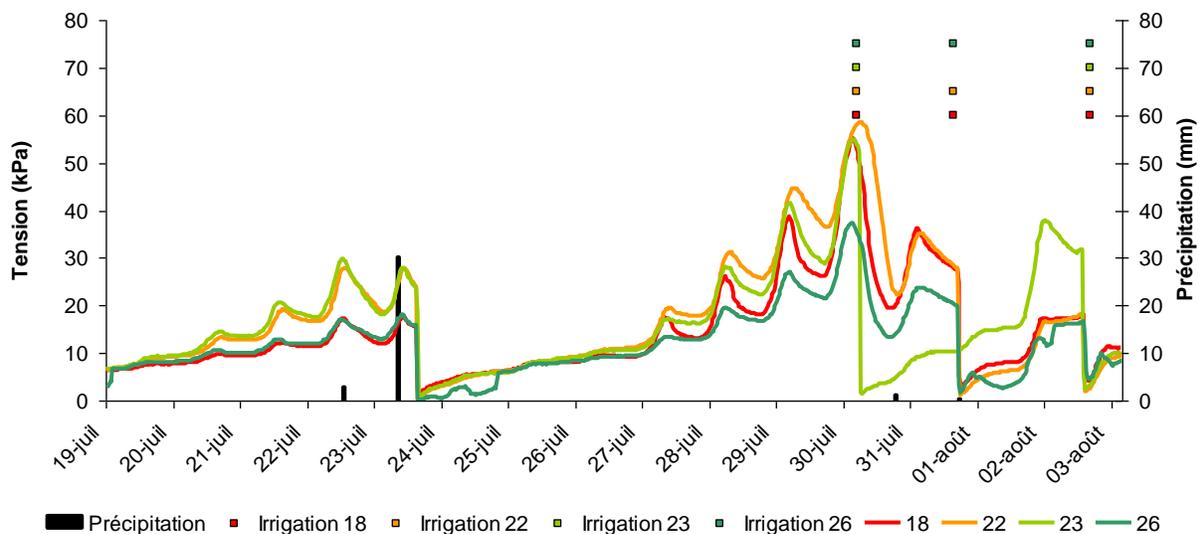


Figure 1. Évolution temporelle de la tension de l'eau du sol des parcelles (35 % RU) du cultivar *Anger* du 19 juillet au 3 août 2012.

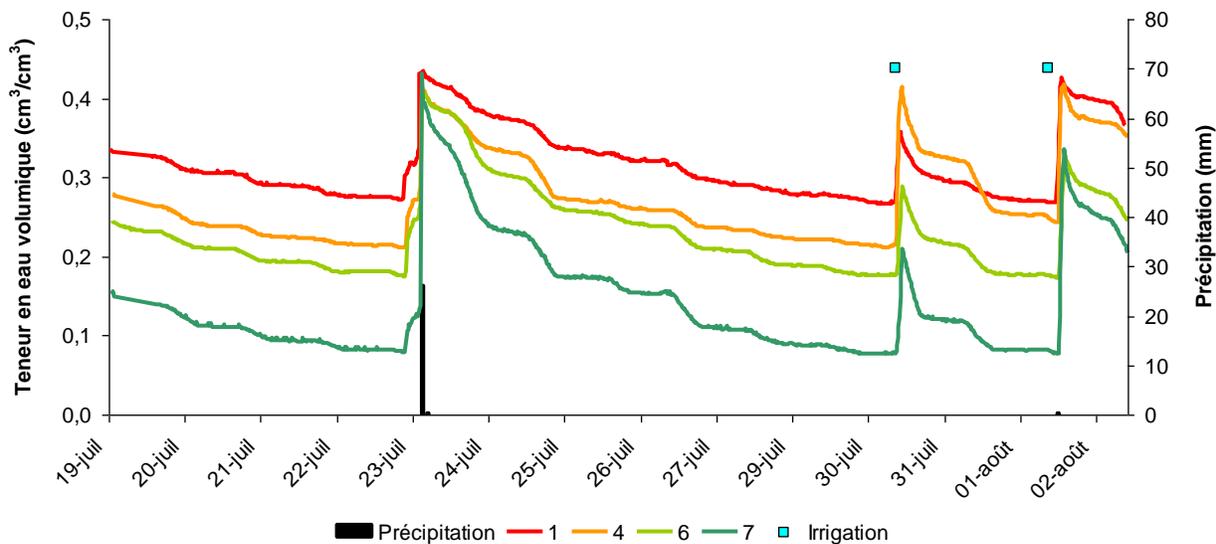


Figure 2. Évolution temporelle de la teneur en eau volumique du sol des parcelles (35 % RU) du cultivar *Maritime* du 19 juillet au 3 août 2012.

4.1.2 Déterminer les besoins de réserve en eau et les équipements nécessaires à l'irrigation

Pour chacun des sites un volume d'eau correspondant à la RU a été déterminé. Les traitements d'irrigation sont conçus pour renflouer le volume de la RU ayant été prélevé par la culture et perdu par évaporation. Une accessibilité à une réserve en eau suffisante pour combler cette perte est donc nécessaire pour une gestion adéquate de l'irrigation. Ces volumes ont été compilés pour chacun des sites. Il faut toutefois mentionner l'influence non négligeable des précipitations en

pluie reçues qui peuvent grandement varier entre les saisons. La pluviométrie pour l'ensemble du projet est présentée en annexe de ce rapport (Figures 6 à 11). Les résultats des volumes d'eau appliqués, présentant les épisodes d'irrigation ainsi que les précipitations, se retrouvent au Tableau 5. Il ne faut toutefois pas conclure que les quantités d'eau d'irrigation et de précipitation reçues pour un site sont fortement reliées aux rendements obtenus. Contrairement aux épisodes d'irrigation, les précipitations peuvent excéder les volumes d'eau de la RU. Une portion du volume qui excède cette RU provenant des précipitations n'a donc pas été utilisée pour le développement de la culture. Les conditions climatiques des différentes saisons de l'essai ont nécessairement été différentes entre elles. Ces conditions influencent directement les besoins en irrigation de la culture du haricot extra-fin. Ainsi, les volumes d'eau d'irrigation considérés pour les différents traitements pourraient être les valeurs maximales rencontrées afin de tenir compte du principe de précaution. Ces valeurs sont de 90 000 et 77 000 litres par hectare (l/ha) pour les haricots cultivés sur un sol sableux et argileux respectivement (Tableau 5).

Tableau 5. Apports en eau par l'irrigation et par la pluie selon la saison, le site et le traitement.

| Saison | Sol | Cultivar | Traitement | Épisodes d'irrigation | Hauteur d'eau | |
|--------|-----------------|-----------------|------------|-----------------------|---------------|---------------------------|
| | | | | | (mm) | Litres par hectare (l/ha) |
| 2011 | Sable | | 50 % RU | 4 | 69 | 69 000 |
| | | | 35 % RU | 6,5 | 92 | 92 000 |
| | | | Pluie | | 181 | 181 000 |
| | Argile | <i>Blavet</i> | 50 % RU | 5 | 59 | 59 000 |
| | | | 35 % RU | 6 | 77 | 77 000 |
| | | | Pluie | | 150 | 150 000 |
| 2012 | Sable | | 50 % RU | 5,25 | 90 | 90 000 |
| | | | 35 % RU | 6,5 | 86 | 86 000 |
| | | | Pluie | | 143 | 143 000 |
| | Argile | <i>Anger</i> | 50 % RU | 4,75 | 81 | 81 000 |
| | | | 35 % RU | 8,25 | 108 | 108 000 |
| | | | Pluie | | 143 | 143 000 |
| 2013 | Sable | | 50 % RU | 0 | 0 | - |
| | | | 35 % RU | 2 | 34 | 34 000 |
| | | | Pluie | | 187 | 187 000 |
| | Argile | <i>Maritime</i> | 50 % RU | 2 | 28 | 28 000 |
| | | | 35 % RU | 4 | 47 | 47 000 |
| | | | Pluie | | 219 | 219 000 |
| 2013 | Sable | | 50 % RU | 2 | 28 | 28 000 |
| | | | 35 % RU | 4 | 47 | 47 000 |
| | | | Pluie | | 219 | 219 000 |
| | Argile | <i>Denver 1</i> | 50 % RU | 1 | 20 | 20 000 |
| | | | 35 % RU | 5 | 71 | 71 000 |
| | | | Pluie | | 207 | 207 000 |
| Argile | <i>Denver 2</i> | 50 % RU | 1 | 20 | 20 000 | |
| | | 35 % RU | 5 | 71 | 71 000 | |
| | | Pluie | | 207 | 207 000 | |

4.1.3 Vérifier si l'approche par bilan hydrique peut s'avérer intéressante à intégrer à la gestion tensiométrique

L'approche par bilan hydrique consiste à estimer les pertes en eau du sol conséquentes à l'évapotranspiration. Cette dernière mesure est connue grâce aux paramètres environnementaux qui sont la température, l'humidité relative, la vitesse et la direction du vent, la radiation solaire ainsi que les précipitations. L'ensemble de ces paramètres a été mesuré au site de Saint-Jacques-de-Montcalm pour la saison 2011 ainsi qu'au site de Sainte-Mélanie pour les saisons 2012 et 2013. Afin d'évaluer cette approche, des comparaisons entre les volumes de précipitation et d'évapotranspiration au volume de réserve utile en eau du sol étaient effectuées. La gestion de l'irrigation par bilan hydrique a pu être effectuée adéquatement au site de Sainte-Mélanie pour la saison 2013, ainsi deux épisodes d'irrigation ont été générés. Les épisodes d'irrigation étaient déclenchés lorsque 50 % de la RU (exprimée en mm) était épuisée. La comparaison à la gestion tensiométrique se faisait donc avec le traitement 50 % RU, où deux épisodes d'irrigation ont également eu lieu. La méthode du bilan hydrique, pour le site de Sainte-Mélanie en 2013 a donc été équivalente en termes de nombre d'épisodes d'irrigation comparativement aux tensiomètres.

Pour des cultures, où les revenus par unité de surface sont très élevés comme la fraise à jours neutres, la gestion en temps réel de l'irrigation justifie davantage les investissements importants reliés aux équipements de mesure comme les tensiomètres. Pour les systèmes plus extensifs tel le haricot extra-fin, irrigué par aspersion où les revenus par unité de surface sont beaucoup moins élevés, la décision d'investir dans l'achat de plusieurs tensiomètres semble plus difficile à justifier pour les entreprises. Dans de tels cas, l'approche par bilan hydrique, qui tient compte des précipitations et de l'évapotranspiration de la culture, est souvent présentée comme une solution intéressante. Par contre, un modèle basé principalement sur des données météorologiques et qui ne tient compte que d'une estimation du statut hydrique du sol pourrait conduire à des biais importants. Une approche hybride qui considérerait le bilan hydrique pour gérer l'irrigation, associée à un nombre limité de mesures tensiométriques en temps réel du statut hydrique du sol permettrait de gérer de grandes superficies de façon plus efficace en réunissant les avantages des deux approches. Une telle approche fait l'objet de recherches à l'IRDA (Vallée et al., non publié).

4.1.4 Évaluer la rentabilité de l'irrigation pour les producteurs de haricots extra-fins

Les résultats obtenus ont été analysés par type de sol, pour la saison 2011, et par la combinaison de type de sol et de cultivar en 2012 et 2013. Ces derniers sont présentés ci-dessous (Tableau 6). Plusieurs caractéristiques relatives aux différents traitements ont été observées et analysées. Ces caractéristiques sont applicables à la récolte finale des plants de haricots sur deux mètres linéaires par parcelle. Les données obtenues sont le poids frais des plants avec les gousses, le poids frais des plants, le poids frais des gousses de haricots (rendement), les proportions de haricots de calibres <5 mm, entre 5-6,5 mm et >6,5 mm, le ratio grains/gousse, la proportion de fil, la masse sèche (MS) des gousses de haricots et la masse sèche (MS) des plants. Les résultats ayant trait à la proportion de fil n'ont pas fait l'objet d'une analyse statistique, étant donné la grande quantité de résultats de valeur nulle obtenus.

4.1.5 Résultats sols sableux

Pour l'ensemble des cultivars semés sur sol sableux en 2011 et 2012, les résultats obtenus n'ont démontré aucune différence significative entre les deux traitements d'irrigation pour l'ensemble des caractéristiques étudiées (Tableau 6). Effectivement, les seules différences observables entre les traitements étaient en relation avec le témoin non irrigué. Les rendements en haricots frais de 2011 étaient effectivement plus faibles d'environ 10 % sans irrigation (17 tonnes par hectare (t/ha)), tout comme la valeur du poids frais des plants et des haricots (32 t/ha) qui était inférieure d'environ 12 %. Le poids frais des plants était cependant équivalent pour tous les traitements, laissant paraître que c'étaient les gousses produites par les plants de haricots qui influençaient principalement le poids des plants au champ. Le rendement, les différents poids frais ainsi que les matières sèches étaient significativement inférieurs lors d'une absence d'irrigation pour le cultivar *Anger* en 2012. Des rendements de 26 et de 15 t/ha de haricots frais ont été obtenus pour les deux traitements irrigués et pour le témoin respectivement. Des baisses de rendements de 42 % et de 38 % pour le poids frais des plants étaient ainsi notées comparativement aux traitements irrigués. Les rendements mesurés avec le cultivar *Denver* en 2012, pour les traitements irrigués, étaient de l'ordre de 19 t/ha et de 12 t/ha pour le témoin. Ces valeurs signifiaient donc une baisse de rendement de 37 % lors de l'absence d'irrigation. Les valeurs de poids frais des plants se situaient entre 10 et 15 t/ha pour l'ensemble des traitements de ce cultivar et n'étaient pas statistiquement différents. Pour la saison 2013, les rendements entre les traitements n'ont pas été différents pour le cultivar *Anger*, oscillants entre 15 et 19 t/ha. Cette absence de différence était également observable pour le poids frais des plants et celui des plants et des haricots. Les rendements du cultivar *Denver* ont été significativement supérieurs avec l'apport d'eau d'irrigation comparativement au témoin non irrigué. Effectivement, des valeurs de rendements de 12 et 10 t/ha ont été mesurées pour les traitements 35 et 50 % RU respectivement, comparativement à 9 t/ha pour le traitement témoin. Une différence significative du rendement était également observable entre les deux traitements avec irrigation. Cette différence était également observable avec le poids frais des plants et des haricots.

La qualité des haricots, exprimée par le ratio grains/gousse et le calibre, était aussi affectée par l'absence d'irrigation tant en 2011 qu'en 2012. Les traitements avec irrigation de 2011 ont démontré une plus faible proportion, comparativement au témoin, du ratio grains/gousse d'environ 20 %. Une augmentation de 62 % pour ce ratio a été notée pour le cultivar *Anger* produit sans irrigation en 2012. Cependant, aucune différence n'était observable pour le cultivar *Denver*, les résultats se situant entre 4 et 7 %. Pour la saison 2013, aucune différence n'était observable entre ces valeurs pour les deux cultivars étudiés, ces dernières étant de 5 et 4 % pour *Anger* et *Denver* respectivement. Afin d'obtenir le qualificatif « extra-fin », le diamètre des haricots doit être inférieur à 6,5 mm. L'irrigation dans le site sableux en 2011 a favorisé cette catégorie de haricots. Un modèle de régression logistique multinomiale a été utilisé en 2012 et 2013 pour analyser statistiquement les résultats des calibres. Ce paramètre pour le cultivar *Anger* en 2012 n'a cependant pas été influencé par les différents traitements. Contrairement à ce dernier cultivar, des différences de calibres existaient entre les traitements irrigués et le témoin avec le *Denver* de la même saison. Pour ce dernier, le témoin démontrait des probabilités de 1,64 et de 1,59 fois supérieures d'obtenir des haricots tendant vers un faible calibre comparativement au traitement 50 et 35 % RU respectivement. Les résultats observés avec le traitement 50 % RU étaient semblables à ceux avec le 35 % RU. Pour la saison 2013, les traitements appliqués au

cultivar *Anger* influençaient le calibre. Ainsi, le traitement 50 % RU démontrait une probabilité de classer les haricots dans des calibres plus faibles de 1,66 fois supérieure au témoin. La même tendance était observée avec le traitement 35 % RU, mais à une valeur 2,33 fois supérieure au témoin, ainsi que de 1,41 fois comparativement au traitement 50 % RU. Pour le cultivar *Denver*, le 35 % RU démontrait des probabilités de 1,63 et 1,72 fois supérieures au témoin et au 50 % RU respectivement quant à l'obtention de haricots de calibre inférieurs.

4.1.6 Résultats sols argileux

Les résultats 2011 du site argileux n'ont pas démontré les mêmes tendances que celles observées au site sableux. Aucune différence de rendement et du poids frais des plants et des haricots n'a été observée. Toutefois, les poids frais des plants et de la MS des plants, pour le traitement 50 % RU, étaient inférieurs à ceux du traitement 35 % RU d'environ 17 et 15 % respectivement. Les résultats 2012 obtenus avec la culture des haricots du cultivar *Maritime* ont été très semblables et ont oscillé entre 14 et 15 t/ha pour l'ensemble des traitements. Pour ce même cultivar, le poids frais des plants était significativement supérieur de 24 % pour ceux irrigués avec la régie de 35 % RU, comparativement à celle de 50 % RU et au témoin. Cette même observation est transposable aux résultats de la matière sèche des plants. Effectivement, environ 20 % de MS supplémentaires ont été produites avec le traitement 35 % RU. Aucune différence de rendement n'était observable en 2013 pour les deux champs de *Denver*, les valeurs se situant entre 17 et 20 t/ha.

Un ratio grains/gousse significativement supérieur a été mesuré en 2011 pour le traitement 50 % RU (6,0 %) comparativement aux 35 % RU (4,4 %) et au témoin (4,9 %). Les valeurs de ratio grains/gousse étaient de 4 à 6 % et n'indiquaient aucune différence entre les traitements en 2012 et 2013. Les résultats des calibres en 2011 démontraient une proportion supérieure de haricots de calibre compris entre 5 et 6,5 mm et une faible proportion > 6,5 mm pour le traitement 35 % RU. Les calibres des haricots du cultivar *Maritime* étaient semblables entre le traitement irrigué 50 % RU et le témoin. Les différences se présentaient entre ces derniers traitements et le 35 % RU. Les haricots produits sous une régie d'irrigation de 35 % RU auront une probabilité de 2,33 fois supérieure à tendre vers des valeurs de calibre plus faible qu'avec une régie d'irrigation de 50 % RU. De plus, les haricots sous la régie de 35 % RU auront une probabilité de 2,94 fois supérieure à produire des haricots de calibre inférieur que ceux produits sans irrigation. En 2013, des différences de calibres entre les traitements sont présentes uniquement dans le premier champ du cultivar *Denver* (*Denver* 1). Les traitements 50 et 35 % RU ont respectivement 1,78 et 1,53 fois plus de chance de produire des haricots de calibre inférieur comparativement au témoin non irrigué.

4.1.7 Efficacité d'utilisation de l'eau d'irrigation (EUEI)

Sommairement, pour l'ensemble des trois saisons du projet, très peu de différences ont pu être observées pour un même cultivar et même sol, entre les deux traitements apportant de l'eau d'irrigation (50 et 35 % RU) relativement aux rendements. Toutefois, une différence marquée entre ces traitements existe et se rapporte à l'utilisation de l'eau. Des volumes d'eau moyens

supérieurs ont été appliqués en plus grandes quantités et en plus grands nombres sur les surfaces irriguées à 35 % de leur réserve utile en eau. Une relation entre les rendements produits et les volumes d'eau d'irrigation consommés peut être établie afin d'évaluer l'efficacité de ces mêmes volumes sur la productivité végétale du haricot. Cette relation est l'efficacité d'utilisation de l'eau d'irrigation (EUEI), exprimée en grammes de haricots produits par litres d'eau consommés (g/l). Une valeur élevée signifiera que l'apport en eau contribue en plus grande proportion aux haricots produits, limitant ainsi les applications inefficaces de cette ressource. Ces valeurs sont présentées au Tableau 6 et ne concernent que les traitements avec irrigation. Les valeurs qui ne sont pas accompagnées d'une lettre n'ont pas pu être analysées statistiquement. De nombreuses différences sont observables pour différentes saisons, types de sols et de cultivars. Cependant, le même constat est toujours présent, à savoir que le traitement 50 % RU offre de meilleures valeurs de EUEI comparativement au traitement 35 % RU. Ces résultats s'expliquent par l'absence de différence entre les rendements de haricots et une consommation moindre en eau d'irrigation pour le traitement 50 % RU. Autrement dit, autant d'haricots sont produits avec moins d'eau par le traitement 50 % RU comparativement au traitement 35 % RU. Cette tendance est également observable pour les valeurs n'ayant pas fait l'objet d'une analyse statistique. Les valeurs de EUEI pour le traitement 50 % RU sont donc de 11 à 94 % supérieures à celles générées par le traitement 35 % RU.

Tableau 6. Rendements et qualité de la récolte selon la saison, le site et le traitement.

| Saison | Sol | Cultivar | Traitement | Poids frais plants + haricots (t/ha) | Poids frais plants (t/ha) | Rendement (t/ha) | Calibre (%) [†] | | | Ratio grains/gousse (%) | MS haricots (g) | MS plants (g) | EUEI (g/l) |
|--------|----------|----------|------------|--------------------------------------|---------------------------|------------------|--------------------------|----------|----------|-------------------------|-----------------|---------------|------------|
| | | | | | | | < 5 mm | 5-6,5 mm | > 6,5 mm | | | | |
| 2011 | Sable | | 50 % RU | 37,10a† | 17,54a | 19,57a | 3,32b | 72,95a | 23,73b | 5,17b | 177,71a | 278,72a | 31,29 |
| | | | 35 % RU | 36,12a | 17,03a | 19,17a | 4,38a | 74,94a | 20,68b | 5,13b | 170,41a | 287,47a | 22,80 |
| | | | TEM | 32,08b | 14,8a | 17,31b | 2,15c | 48,31b | 49,53a | 6,41a | 167,58a | 247,01a | |
| | Argile | Blavet | 50 % RU | 18,77a | 8,02b | 10,75a | 2,49b | 48,88ab | 48,63a | 5,96a | 97,29a | 140,93b | 19,88 |
| | | | 35 % RU | 21,94a | 9,62a | 12,31a | 3,97a | 58,27a | 37,76b | 4,41b | 108,31a | 164,84a | 17,66 |
| | | | TEM | 19,47a | 9,01ab | 10,47a | 4,04a | 42,23b | 53,74a | 4,85b | 94,27a | 172,87a | |
| 2012 | Sable | Anger | 50 % RU | 42,43a | 16,01a | 26,42a | 12,58 | 71,45 | 15,98 | 5,08b | 256,66a | 344,68ab | 24,81a |
| | | | 35 % RU | 47,70a | 15,88a | 26,82a | 9,38 | 75,00 | 15,63 | 5,65b | 274,85a | 378,25a | 23,72a |
| | | | TEM | 25,76b | 10,40b | 15,36b | 17,33 | 57,35 | 25,30 | 8,11a | 210,82b | 286,60b | |
| | Argile | Denver | 50 % RU | 34,50a | 14,97a | 19,53a | 12,25 | 83,13 | 4,63 | 4,08a | 188,69a | 339,43a | 36,51a |
| | | | 35 % RU | 31,96a | 13,33a | 18,63a | 12,08 | 83,53 | 4,40 | 5,19a | 189,12a | 299,16ab | 25,40b |
| | | | TEM | 22,81b | 10,74a | 12,07b | 19,63 | 76,23 | 4,13 | 6,94a | 149,84b | 244,43b | |
| Argile | Maritime | 50 % RU | 28,71a | 13,73b | 14,98a | 10,18 | 86,08 | 3,78 | 5,60a | 149,19a | 294,85b | - | |
| | | 35 % RU | 32,21a | 17,94a | 14,27a | 21,85 | 76,68 | 1,50 | 4,22a | 126,29a | 365,18a | 45,64 | |
| | | TEM | 27,62a | 13,28b | 14,34a | 11,45 | 80,40 | 8,15 | 5,87a | 140,09a | 288,10b | | |
| 2013 | Sable | Anger | 50 % RU | 18,11a | 7,74a | 10,61a | 3,47 | 64,34 | 32,20 | 5,00a | 123,59a | 177,25a | 34,28a |
| | | | 35 % RU | 18,76a | 8,26a | 10,79a | 2,88 | 73,37 | 23,75 | 4,80a | 119,27a | 178,00a | 22,38b |
| | | | TEM | 14,81a | 7,43a | 10,44a | 2,24 | 54,59 | 43,18 | 4,67a | 115,05a | 158,45a | |
| | Argile | Denver | 50 % RU | 19,62b | 9,76a | 10,16b | 6,09 | 51,23 | 42,68 | 3,97a | 106,37b | 211,10a | 36,04a |
| | | | 35 % RU | 22,07a | 10,05a | 12,36a | 5,09 | 67,37 | 27,55 | 3,90a | 128,29a | 208,04a | 25,63b |
| | | | TEM | 18,00c | 9,59a | 8,71c | 6,70 | 51,88 | 41,42 | 3,89a | 94,49b | 206,27a | |
| | Argile | Denver 1 | 50 % RU | 31,10a | 14,54a | 18,13a | 4,26 | 86,74 | 9,00 | 5,27a | 171,40a | 259,23a | 82,01a |
| | | | 35 % RU | 31,00a | 13,99a | 17,22a | 4,08 | 85,26 | 10,67 | 5,52a | 172,39a | 274,15a | 24,09b |
| | | | TEM | 32,22a | 14,05a | 19,31a | 4,93 | 77,19 | 17,88 | 5,70a | 188,14a | 272,00a | |
| Argile | Denver 2 | 50 % RU | 34,46a | 15,46a | 19,70a | 5,43 | 84,41 | 10,16 | 5,23a | 190,74a | 296,33a | 94,10a | |
| | | 35 % RU | 29,59a | 13,44a | 16,69a | 4,49 | 85,01 | 10,51 | 5,60a | 171,16a | 259,83a | 22,86b | |
| | | TEM | 32,24a | 14,07a | 18,87a | 5,49 | 84,04 | 10,48 | 5,68a | 193,90a | 280,75a | | |

[†] Les valeurs, pour une caractéristique et un cultivar (ou un sol pour 2011) distinct, ne possédant pas la même lettre sont significativement différentes ($p < 0,1$).

* Les valeurs de calibre pour les saisons 2012 et 2013 seulement doivent être considérées par traitement sans distinction entre les classes de calibre. Une différence ($p < 0,1$) est présente entre les résultats du calibre de traitements qui n'ont pas la même couleur.

4.1.8 Volet technico-économique

L'analyse économique consiste à réaliser le budget partiel de la production d'haricots extra-fins en fonction de différentes régies d'irrigation, dans différentes conditions agronomiques et selon que les coûts fixes du système d'irrigation peuvent être amortis ou non dans différentes productions. Concernant les stratégies d'irrigation, le budget partiel tient compte des deux consignes d'irrigation mises à l'essai, soit à 35 et 50 % de la réserve utile (RU) en eau. Ces consignes font varier les coûts variables seulement, sans impact sur les coûts fixes. Pour ce qui est des conditions agronomiques, quatre traitements ont été retenus aux fins de l'analyse, soit la production sur sable en 2011, en 2012 (cultivars *Denver* et *Anger*) et en 2013 (cultivar *Denver*). Seuls ces traitements ont été retenus puisque les rendements y étaient statistiquement différents lorsque la production était irriguée en regard du traitement témoin. Les traitements en sol argileux n'ayant pas généré de différence avec le témoin ne sont pas considérés dans cette section du rapport. Finalement, trois scénarios sont retenus quant à l'allocation des coûts fixes, soit des allocations de 33, 50 et 100 % des coûts fixes à la production d'haricots extra-fins.

Méthodologie

a) Budget partiel (par rapport aux traitements témoins)

La budgétisation partielle est une méthode d'analyse marginale ne tenant compte que des coûts et des revenus en plus et en moins associés à un changement donné sur une entreprise agricole. Dans ce contexte, les changements prévus aux modes de production ne concernent que certaines ressources bien spécifiques, lesquelles peuvent être changées sans modifier les opérations principales de l'entreprise (Castle et al., 1987).

Dans ce projet, les coûts et les revenus en plus et en moins qui sont considérés sont associés à l'utilisation de l'irrigation par rapport à un traitement témoin sans irrigation. Par conséquent, l'exercice ne consiste pas à faire un budget d'exploitation complet, mais seulement de mesurer l'impact isolé de l'irrigation sur celui-ci par l'entremise du budget partiel. Dans les parties b) à d) qui suivent, tous les détails sont fournis sur les paramètres de la budgétisation partielle qui ont été retenus.

b) Rendements

Dans un contexte expérimental et dans la mesure du possible, tous les facteurs de production autres que celui sous étude sont contrôlés. Il en résulte souvent des rendements qui sont possiblement supérieurs à ce qui peut être observé dans le contexte de production. C'est d'ailleurs ce qui est survenu dans ce projet alors que les rendements obtenus en contexte expérimental, tels que présentés plus loin (Tableau 8), ont varié entre 8,71 et 26,82 tonnes par hectare (t/ha). Or, les rendements de référence publiés par la Financière agricole du Québec (FADQ) sont passablement moindres que ces niveaux de rendement. Le Tableau 7 présente les rendements affichés par la FADQ pour les années 2011 à 2013 (FADQ, 2011, 2012, 2013). Il est à noter que la récolte est mécanique dans cette production. La récolte manuelle est beaucoup plus efficace en termes de proportion de gousses récoltées. Quoi qu'il en soit, les traitements ont été récoltés de la même façon pour chacune des parcelles.

Tableau 7. Rendements de référence en haricots (kg/ha)

| Année | 2011 | 2012 | 2013 | Moyenne 2011-2013 |
|--------------------------|-------------|-------------|-------------|--------------------------|
| Rendement (kg/ha) | 6 427 | 6 814 | 8 836 | 7 359 |

On constate que les rendements de référence les plus élevés ont été obtenus en 2013 et ceux-ci équivalent tout juste aux rendements les plus faibles obtenus dans ce projet. Par conséquent, un ajustement des rendements a dû être fait pour placer les résultats agronomiques de ce projet dans le contexte de production. Cet ajustement a consisté à attribuer aux traitements témoin non-irrigué la moyenne des rendements de référence de la FADQ pour 2011 à 2013, soit 7,36 t/ha et de faire varier par la suite les rendements des traitements irrigués relativement à cette base. L'hypothèse est donc faite que les rendements de référence publiés par la FADQ sont des rendements de culture de haricots extra-fins non-irrigués.

c) Revenus en plus

La variation des revenus considérée se limite aux revenus en plus. Ceux-ci sont associés à l'obtention de rendements supérieurs dans les traitements irrigués et à la prime de prix obtenu pour l'irrigation, en vertu de la Convention de mise en marché 2013 publiée par la Fédération québécoise des producteurs de fruits et légumes de transformation (FQPFLT). Cette prime est de 5 % par rapport au prix de base et en plus, la convention prévoit une prime de prix par unité de surface. Cette dernière a été prise en compte, et ce, autant pour les traitements irrigués que pour les traitements témoins. Bien que les résultats agronomiques soient relatifs aux années 2011, 2012 et 2013, seules les données de prix de 2013 ont été retenues dans la budgétisation partielle.

d) Coûts en plus

Tout comme pour les revenus, les seuls coûts considérés sont des coûts en plus, car l'irrigation ne procure pas de réduction de coût. Aussi, des rendements supplémentaires représentent des coûts de mise en marché supérieurs, comme les coûts de transport par exemple. Les coûts en plus sont de deux ordres, soit les coûts fixes et les coûts variables, mais chacune de ces catégories de coût doit être allouée différemment selon qu'un système d'irrigation est déjà présent sur l'entreprise ou non. Ainsi, les coûts variables de l'irrigation se fondent sur le nombre d'irrigations par année qui, eux-mêmes, dépendent de la consigne d'irrigation. Concernant les coûts fixes, ils peuvent être alloués différemment aux différentes cultures produites sur une entreprise et dans la présente analyse, trois niveaux d'allocation des coûts ont été considérés, soit 33, 50 et 100 % des coûts fixes d'irrigation attribués à la production de haricots extra-fins.

i. Coûts d'irrigation

Les différents coûts ont été calculés en utilisant les Références économiques du Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec (CRAAQ). Les coûts variables d'irrigation par unité de surface proviennent des AGDEX 255-821f et 255-821g (CRAAQ 2011a, 2011b) et ils sont évalués à 22,68 \$/ha par épisode d'irrigation. Ce montant fait référence à un système d'irrigation fixe laissé au champ pour l'ensemble de la saison. Il est également important de noter que le nombre total d'épisodes d'irrigation par saison pourra influencer le coût variable d'irrigation par épisode. Pour ce qui est des coûts fixes, ils se résument essentiellement à un amortissement linéaire de 15 ans d'un système d'irrigation par aspersion, lequel représente un investissement de près de 10 000 \$/ha selon l'AGDEX 753 (CRAAQ 2011c). Ce coût est estimé à partir d'une somme de 39 000 \$ correspondant à une ferme de 4 ha.

ii. Autres coûts

Les autres coûts considérés sont relatifs au volume de production et sont donc davantage associés à la mise en marché. Ainsi, dans cette catégorie, on compte les coûts de transport des haricots de 20 \$/t (CRAAQ, 2011a, 2011b) et les contributions au plan conjoint des producteurs de légumes de transformation, qui s'élèvent à 1,8 % des revenus bruts.

Résultats

Sur la base des résultats agronomiques du projet et de certaines hypothèses au regard des coûts et des revenus en plus, les résultats de la budgétisation partielle montrent qu'il serait avantageux, dans la plupart des cas en culture sur sable, d'implanter l'irrigation dans la culture des haricots extra-fins. Aussi, les résultats montrent que la prime de prix de 5 % pour la production irriguée prévue dans la convention de mise en marché devrait être amplement suffisante pour inciter les producteurs à adopter l'irrigation dans cette production.

Le résumé des résultats technico-économiques est présenté au Tableau 8 alors que tous les paramètres et toutes les données de l'analyse sont présentés au Tableau 10 en annexe. On constate premièrement au Tableau 8 que les différentiels de rendement sont déterminants dans les soldes de rentabilité. Ceux-ci varient de 12 % à 73 %. Les revenus en plus générés sont évidemment en proportion des rendements et ils varient entre 443 et 2 048 \$/ha. Dans la plupart des cas, ces revenus comblent amplement les coûts en plus qui, eux, varient entre 302 et 960 \$/ha selon les traitements et les différents scénarios d'allocation des coûts fixes. Toutefois, une attention doit être portée sur le fait que malgré le portrait d'ensemble, certains traitements n'offrent pas de perspectives de rentabilité selon l'allocation des coûts. C'est le cas en 2011 avec les allocations de 50 et 100 % des coûts fixes d'irrigation et la consigne d'irrigation à 50 % de RU, de même qu'en 2013 avec la même consigne d'irrigation et l'allocation des coûts fixes à 100 %.

Discussion

Les différentiels de rendement sont particulièrement déterminants, dans l'ensemble, pour procurer des soldes de rentabilité qui militent pour l'utilisation de l'irrigation dans la production de haricots extra-fins. Cependant, en 2011 pour la consigne d'irrigation à 50 % de RU, seul le scénario où les coûts fixes de l'irrigation seraient alloués à 33 % à la production de haricots extra-fins offrirait des perspectives de rentabilité. Il en est de même en 2013, pour la même consigne d'irrigation, si les coûts fixes sont alloués à 100 % à la production de haricots extra-fins. Ces résultats tendent à démontrer que dans le cas d'un producteur qui acquerrait un système d'irrigation par aspersion expressément pour la production de haricots extra-fins, il faudrait espérer un gain de rendement d'environ 20 %. Dans le cas où les coûts fixes d'irrigation peuvent être partagés avec d'autres productions, un gain de rendement d'environ 15 % devrait suffire.

Tableau 8. Résultats économiques des essais d'irrigation dans la culture d'haricots extra-fins selon la saison, le site et le traitement.

| | Sable 2011 | | | Sable 2012 Demer | | | Sable 2012 Anger | | | Sable 2013 Demer | | |
|--|------------|---------|------|------------------|---------|-------|------------------|---------|-------|------------------|-----------|------|
| | 50 % RU | 35 % RU | TBM | 50 % RU | 35 % RU | TBM | 50 % RU | 35 % RU | TBM | 50 % RU | 35 % RU | TBM |
| Données techniques | | | | | | | | | | | | |
| Superficie (ha) | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Rendement (t/ha) | 19,8 | 19,2 | 17,3 | 19,53 | 18,63 | 12,07 | 26,42 | 26,82 | 15,36 | 10,16 | 12,36 | 8,71 |
| Rendement utilisé (t/ha) | 19,4 | | 17,3 | 19,08 | | 12,07 | 26,82 | | 15,36 | 10,16 | 12,36 | 8,71 |
| Différentiel de rendement | 12% | | | 58% | | | 73% | | | 17% | 42% | |
| Rendement ajusté (t/ha) | 8,25 | | 7,36 | 11,63 | | 7,36 | 12,76 | | 7,36 | 8,59 | 10,44 | 7,36 |
| Nombre d'irrigations | 4 | 6,5 | 0 | 5,25 | 6,5 | 0 | 4,75 | 8,25 | 0 | 2 | 4 | 0 |
| Nombre d'irrigations moyen | 5,25 | | 0 | 5,875 | | 0 | 6,5 | | 0 | 2 | 4 | 0 |
| Revenus en plus (\$/ha) | 443 | | | 1 648 | | | 2 048 | | | 562 | 1 224 | |
| Coûts variables en plus (\$/ha) | 149,71 | | | 256,06 | | | 301,12 | | | 82,42 | 179,77 | |
| Coûts fixes | | | | | | | | | | | | |
| Amortissement linéaire (100 % d'allocation)(\$/ha) | 658,53 \$ | - \$ | | 658,53 \$ | - \$ | | 658,53 \$ | - \$ | | 658,53 \$ | 658,53 \$ | - \$ |
| Amortissement linéaire (50 % d'allocation)(\$/ha) | 329,27 \$ | - \$ | | 329,27 \$ | - \$ | | 329,27 \$ | - \$ | | 329,27 \$ | 329,27 \$ | - \$ |
| Amortissement linéaire (33 % d'allocation)(\$/ha) | 219,51 \$ | - \$ | | 219,51 \$ | - \$ | | 219,51 \$ | - \$ | | 219,51 \$ | 219,51 \$ | - \$ |
| Total des coûts en plus (100 % d'allocation)(\$/ha) | 808,24 \$ | | | 914,59 \$ | | | 959,66 \$ | | | 740,95 \$ | 838,31 \$ | |
| Total des coûts en plus (50 % d'allocation)(\$/ha) | 478,98 \$ | | | 585,33 \$ | | | 630,39 \$ | | | 411,69 \$ | 509,04 \$ | |
| Total des coûts en plus (33 % d'allocation)(\$/ha) | 369,22 \$ | | | 475,57 \$ | | | 520,63 \$ | | | 301,93 \$ | 399,28 \$ | |
| Solde (100 % d'allocation)(\$/ha) | (364,95)\$ | | | 733,67 \$ | | | 1 088,07 \$ | | | (179,39)\$ | 385,77 \$ | |
| Solde (50 % d'allocation)(\$/ha) | (35,68)\$ | | | 1 062,94 \$ | | | 1 417,33 \$ | | | 149,88 \$ | 715,04 \$ | |
| Solde (33 % d'allocation)(\$/ha) | 74,08 \$ | | | 1 172,69 \$ | | | 1 527,09 \$ | | | 259,63 \$ | 824,79 \$ | |

4.2 Diffusion des résultats au 31 décembre 2013

- Site Internet de l'IRDA depuis avril 2011.
<http://www.irda.qc.ca/fr/projets/evaluation-technico-economique-d-une-gestion-raisonnee-de-l-irrigation-dans-la-culture-du-haricot-extra-fin/>
- Activité champ organisée par la FQPFLT, 19 août 2011, site expérimental Saint-Jacques-de-Montcalm.
- Journée d'information scientifique - Légumes de champ, CRAAQ, 13 février 2012, Drummondville.
- Les journées agricoles Montréal-Laval-Lanaudière, 22^e édition, Journée maraîchère, MAPAQ, 30 janvier 2013, Joliette.
- Assemblée générale annuelle FQPFLT, 11 décembre 2013, Boucherville.
- Le rapport final sera disponible en ligne au site internet de l'IRDA
<http://www.irda.qc.ca/fr/>
et sur le site internet de la Fédération québécoise des producteurs de fruits et légumes de transformation (FQPFLT)
<http://www.legumes-transformation.qc.ca/projets-r-et-d>
- Information sur l'évolution du projet dans les éditions du Bulletin de la FQPFLT
- Information dans le Rapport annuel de la FQPFLT, remis lors de l'Assemblée générale annuelle

5 Conclusion

Les résultats obtenus ont été analysés par types de sol (2011) et par combinaisons entre le type de sol et le cultivar (2012 et 2013) et sont propres à ces derniers.

Les trois ans d'essai ont permis d'effectuer des observations quant à l'effet de régies d'irrigation raisonnées sur la production du haricot extra-fin. Pour chacune des trois saisons, les dispositifs expérimentaux étaient situés sur des sols de type sableux et argileux afin de comparer les régies d'irrigation pour chacun de ces derniers. Au total, quatre cultivars ont pu être utilisés (*Blavet*, *Anger*, *Denver* et *Maritime*), cependant leur distinction au travers des différents résultats ne s'applique qu'aux cultivars *Anger*, *Denver* et *Maritime* pour les saisons 2012 et 2013.

En termes de résultats, les saisons 2011 et 2012 ont été similaires. Les deux régies d'irrigation (50 et 35 % RU) se sont révélées efficaces pour améliorer les rendements et la qualité des haricots cultivés sur un sol de type sableux, toutefois sans démontrer de différences entre elles. Les rendements en haricots frais de 2011 étaient effectivement plus faibles d'environ 10 % sans irrigation (17 tonnes par hectare (t/ha)), tout comme la valeur du poids frais des plants et des haricots (32 t/ha) qui était inférieure d'environ 12 %. Le rendement, les différents poids frais ainsi que les matières sèches étaient significativement inférieurs lors d'une absence d'irrigation pour le cultivar *Anger* en 2012. Des rendements de 26 et de 15 t/ha de haricots frais ont été obtenus pour les deux traitements irrigués et pour le témoin respectivement. Des baisses de rendements de 42 % et de 38 % pour le poids frais des plants étaient ainsi notées comparativement aux traitements irrigués. Les rendements mesurés avec le cultivar *Denver* en 2012, pour les traitements irrigués, étaient de l'ordre de 19 t/ha et de 12 t/ha pour le témoin. Ces valeurs signifient donc une baisse de rendement de 37 % lors de l'absence d'irrigation. Pour la saison 2013, les rendements n'ont pas été différents pour le cultivar *Anger*, oscillants entre 15 et 19 t/ha. Les rendements du cultivar *Denver* ont été significativement supérieurs avec l'apport d'eau d'irrigation comparativement au témoin non irrigué. Effectivement, des valeurs de rendements de 12 et 10 t/ha ont été mesurées pour les traitements 35 % RU et 50 % RU respectivement, comparativement à 9 t/ha pour le traitement témoin. Une différence significative du rendement était également observable entre les deux traitements avec irrigation. Les résultats obtenus en sol de type argileux n'ont démontré aucune différence pour l'ensemble des traitements, irrigués ou non. La pratique de l'irrigation dans ce type de sol pour la culture du haricot extra-fin de 2011 à 2013 ne semble donc apporter aucun avantage, tant au niveau des rendements que de la qualité.

Une gestion de l'irrigation par bilan hydrique a pu être testée pour le site sableux lors de la saison 2013. Cette méthode utilise les valeurs d'évapotranspiration, provenant de données climatiques, afin de cibler les moments adéquats pour déclencher un épisode d'irrigation. Avec cette dernière méthode, un nombre identique d'épisodes d'irrigation a été généré comparativement à la gestion de l'irrigation par tensiométrie, utilisée dans ce projet. La méthode du bilan hydrique peut s'avérer intéressante pour les productions extensives, comme celle du haricot extra-fin, considérant leur revenu par unité de surface qui pourrait ne justifier l'achat de nombreux tensiomètres requis pour une régie d'irrigation en temps réel. Par contre, un modèle basé principalement sur des données météorologiques et qui ne tient compte que d'une estimation du statut hydrique du sol pourrait conduire à des biais importants. Une approche hybride qui

considérerait le bilan hydrique pour gérer l'irrigation, associée à un nombre limité de mesures tensiométriques en temps réel du statut hydrique du sol permettrait de gérer de grandes superficies de façon plus efficace en réunissant les avantages des deux approches. Une telle approche fait l'objet de recherches au sein de l'IRDA (Vallée et al., non publié).

Sur la base des résultats agronomiques du projet et de certaines hypothèses au regard des coûts et des revenus en plus, les résultats de la budgétisation partielle montrent qu'il serait avantageux, dans la plupart des cas en culture sur sable, d'implanter l'irrigation dans la culture des haricots extra-fins. Aussi, les résultats montrent que la prime de prix de 5 % pour la production irriguée prévue dans la convention de mise en marché devrait être amplement suffisante pour inciter les producteurs à adopter l'irrigation dans cette production. Les différentiels de rendement sont particulièrement déterminants, dans l'ensemble, pour procurer des soldes de rentabilité qui militent pour l'utilisation de l'irrigation dans la production de haricots extra-fins. Cependant, en 2011 pour la consigne d'irrigation à 50 % de RU, seul le scénario où les coûts fixes de l'irrigation seraient alloués à 33 % à la production de haricots extra-fins offrirait des perspectives de rentabilité. Il en est de même en 2013, pour la même consigne d'irrigation, si les coûts fixes sont alloués à 100 % à la production de haricots extra-fins. Ces résultats tendent à démontrer que dans le cas d'un producteur qui acquerrait un système d'irrigation par aspersion expressément pour la production de haricots extra-fins, il faudrait espérer un gain de rendement d'environ 20 %. Dans le cas où les coûts fixes d'irrigation peuvent être partagés avec d'autres productions, un gain de rendement d'environ 15 % devrait suffire.

6 Bibliographie

Allaire, S. 2004. *Physique et hydrodynamique des sols*, notes de cours, SLS-12420, Département des sols et de génie agroalimentaire, Université Laval.

Allison, L.E. 1965. *Organic Carbon*, C.A. Black et al. (ed.), *Methods of Soil Analysis, Part 2*, Agronomy Monograph no. 9, American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, p. 1367-1378.

Castle, E.N., M.H. Becker et A.G. Nelson. 1987. *Farm Business Management – The Decision-Making Process*. Macmillan Publishing. 413 p.

Conseil des Productions Végétales du Québec (CPVQ). 1988. *Méthodes d'analyse des sols, des fumiers et des tissus végétaux, Méthode PH-1, Détermination du pH à l'eau*, Agdex 533, Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation, Québec, QC.

Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec (CRAAQ). 2011a. *Haricot frais récolte mécanique, Budget – Légume en terre minérale. AGDEX 255/821f*. CRAAQ. 5 p.

CRAAQ. 2011b. *Haricot frais récolte manuelle, Budget – Légume en terre minérale. AGDEX 255/821g*. CRAAQ. 5 p.

CRAAQ. 2011c. *Irrigation, Coût du matériel et exemples de systèmes. AGDEX 753*. CRAAQ. 6 p.

Fédération québécoise des producteurs de fruits et légumes de transformation (FQPFLT). *Convention de mise en marché 2013*, site consulté le 12 décembre 2013, <http://www.legumes-transformation.qc.ca/publications/de-la-federation/2633-convention-20125>

Financière agricole du Québec (FADQ). 2011. *Rendements de référence 2011 en assurance récolte*, Direction de la recherche et du développement, 40 p. http://www.fadq.qc.ca/fileadmin/fr/cent_docu/docu_publ/stat/asrec/rend_refe/rend_refe_2011.pdf

Financière agricole du Québec (FADQ). 2012. *Rendements de référence 2012 en assurance récolte*, Direction de la recherche et du développement, 40 p. http://www.fadq.qc.ca/fileadmin/fr/cent_docu/docu_publ/stat/asrec/rend_refe/rend_refe_2012.pdf

Financière agricole du Québec (FADQ). 2013. *Rendements de référence 2013 en assurance récolte*, Direction de la recherche et du développement, 44 p. http://www.fadq.qc.ca/fileadmin/fr/cent_docu/docu_publ/stat/asrec/rend_refe/rend_refe_2013.pdf

Gee, G.W. et J.W. Bauder. 1986. *Particle-size analysis*, A. Klute (ed) *Methods of soil analysis*, Part 1. ASA. Monograph No 9, 2nd edition, Madison, WI., p. 383-411.

McGill, W.B. et C.T. Figueiredo. 1993. *Total nitrogen*, M.R. Carter (ed.) *Soil Sampling and Methods of Analysis*, Lewis Publishers, Boca Raton, Florida, p. 201-211.

Topp, G.C., Y.T. Galganov, B.C. Ball et M.R. Carter. 1993. *Soil water desorption curves*, M.R. Carter (ed.) Soil Sampling and Methods of Analysis, Lewis Publishers, Boca Raton, Florida, p. 569-580.

Tran, T. S. et R. R. Simard, 1993. *Mehlich III-extractable nutrients*, M. R. Carter, ed. Soil sampling and methods of analysis, Lewis Publishers, London, UK, p. 43-50.

Vallée, J., C. Boivin, D. Bergeron, R. Audet et F. Chrétien. Non publié (janvier 2014). *Comparaison et évaluation d'outils de gestion de l'irrigation*, Rapport final, 71 p.

7 Annexe



Figure 3. Sonde de teneur en eau volumique CWS655 (Campbell Scientific).

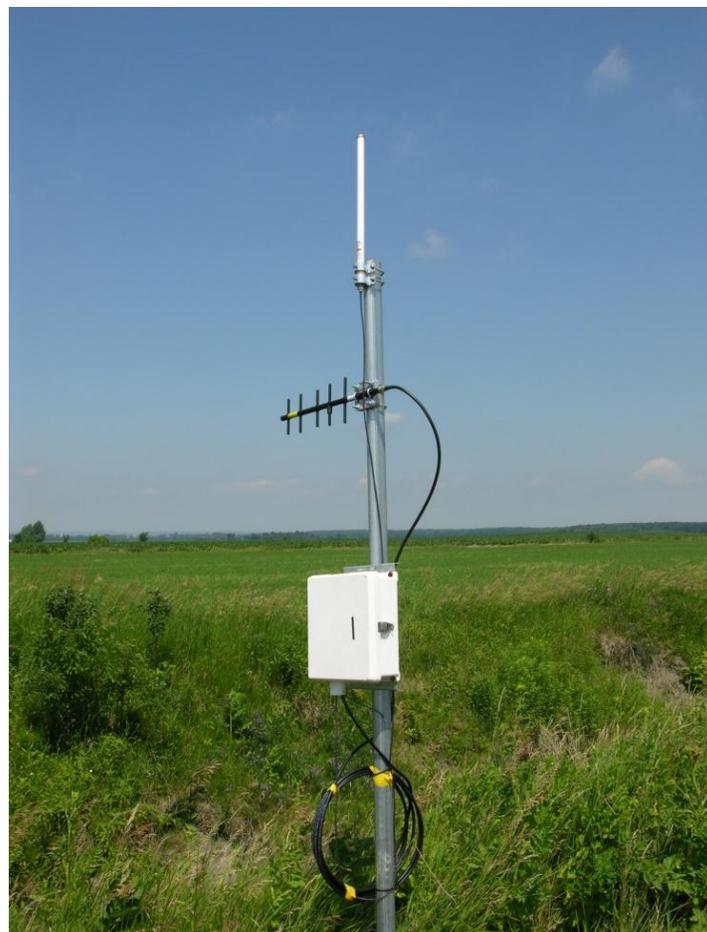


Figure 4. Station d'acquisition et de transmission des données des sondes CWS655 (Campbell Scientific).

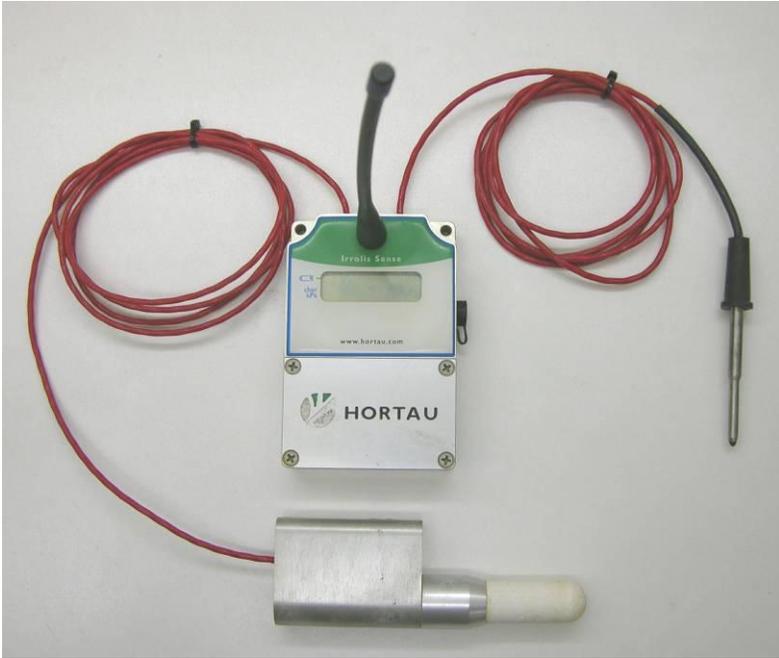


Figure 5. Tensiomètre HORTAU, modèle Tx-80.

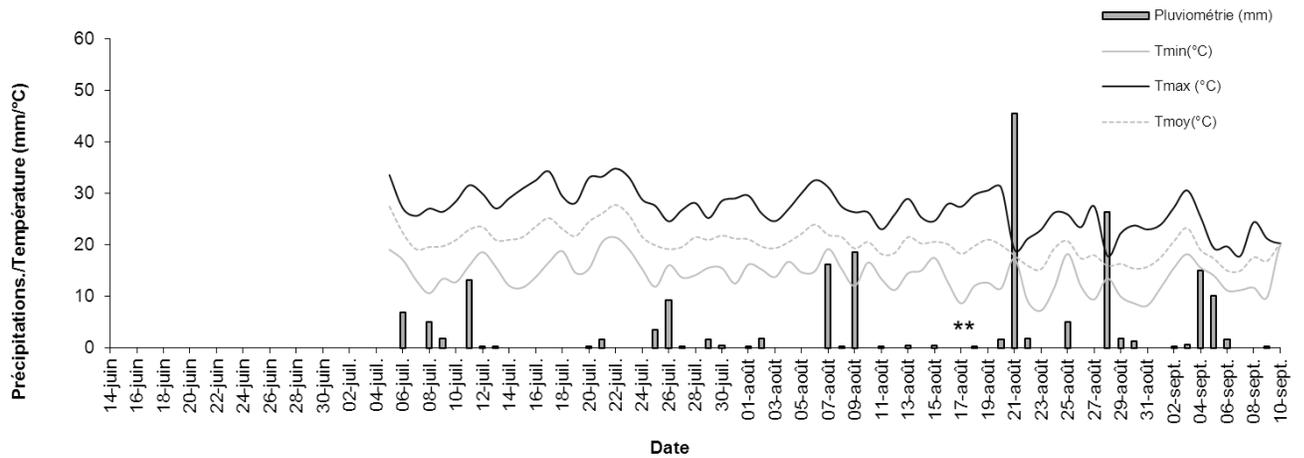


Figure 6. Pluviométrie et température minimale, maximale et moyenne mesurées quotidiennement au site Sainte-Mélanie 2011.

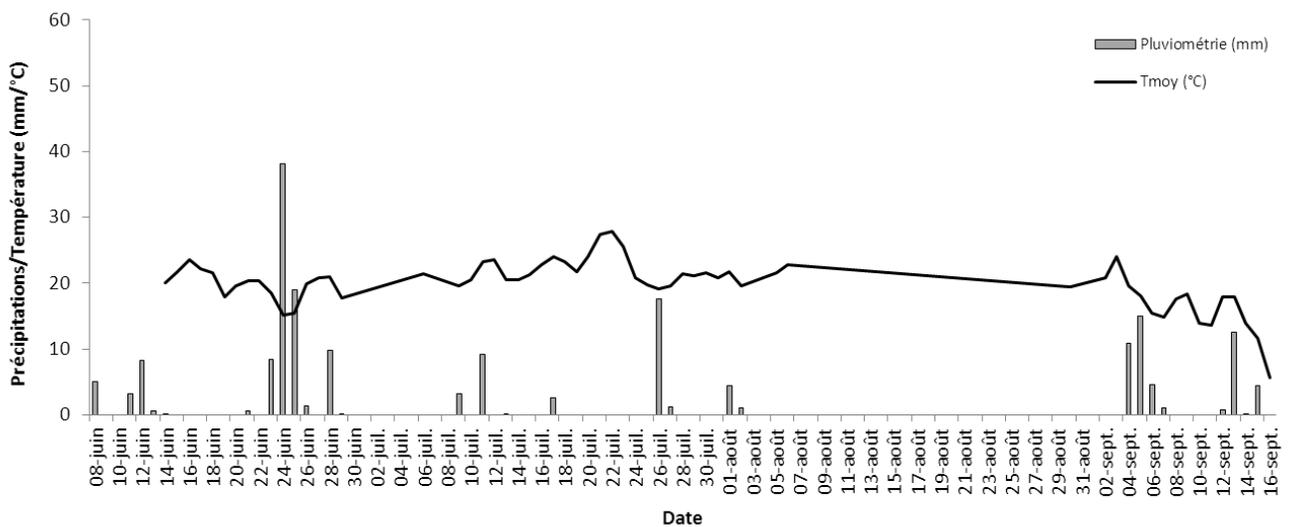


Figure 7. Pluviométrie et température moyenne mesurées quotidiennement au site Saint-Jacques-de-Montcalm 2011.

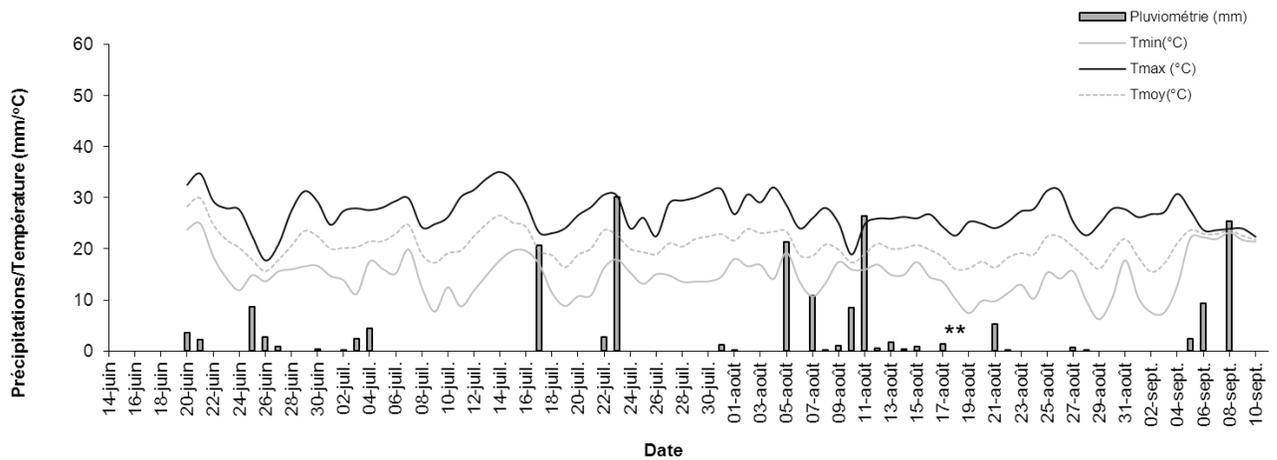


Figure 8. Pluviométrie et température minimale, maximale et moyenne mesurées quotidiennement au site Sainte-Mélanie 2012.

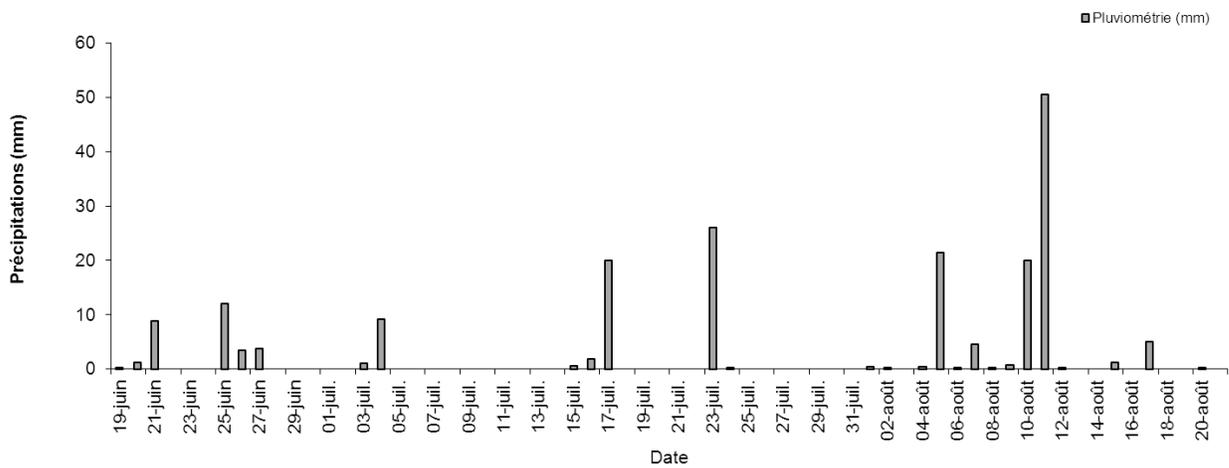


Figure 9. Pluviométrie mesurée quotidiennement au site Saint-Alexis-de-Montcalm 2012.

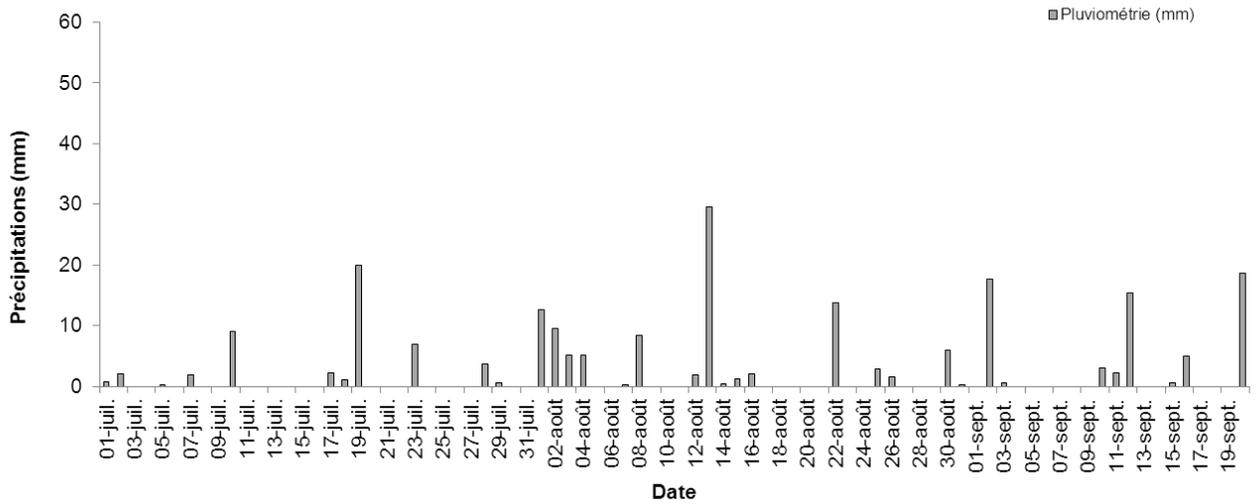


Figure 10. Pluviométrie mesurée quotidiennement au site Saint-Alexis-de-Montcalm 2013.

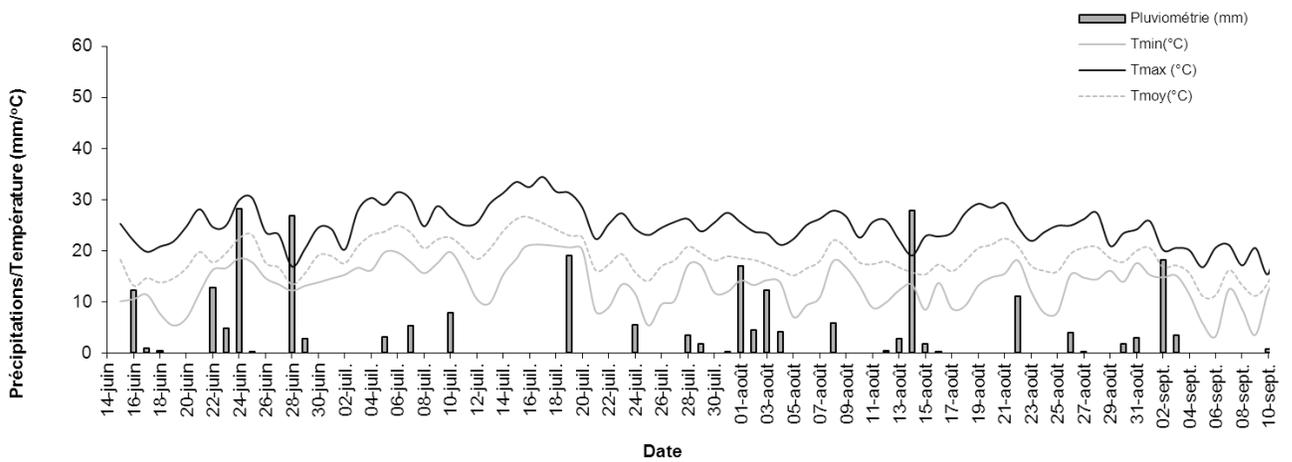


Figure 11. Pluviométrie et température minimale, maximale et moyenne mesurées quotidiennement au site Sainte-Mélanie 2013.

Tableau 9. Résultats des poids moyens en masse sèche des parties aériennes des plants selon la saison, le site et le traitement (g).

| Année | Sol | Cultivar | Date prélèvement | Régies d'irrigation | | |
|--------|-----------------|-----------------|------------------|---------------------|---------|------|
| | | | | 50 % RU | 35 % RU | TEM |
| 2011 | Sable | | 20-juil | 0,4 | 0,4 | 0,3 |
| | | | 02-août | 2,5 | 2,7 | 2,7 |
| | | | 19-août | 9,8 | 9,5 | 8,0 |
| | | | 30-août | 14,7 | 15,5 | 12,6 |
| | Argile | <i>Blavet</i> | 21-juin | 0,2 | 0,2 | 0,2 |
| | | | 06-juil | 1,3 | 1,3 | 1,4 |
| | | | 20-juil | 4,8 | 4,7 | 5,3 |
| | | | 02-août | 7,9 | 9,3 | 8,9 |
| 2012 | Sable | <i>Anger</i> | 05-juil | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| | | | 19-juil | 0,5 | 0,5 | 0,3 |
| | | | 02-août | 3,1 | 3,8 | 3,7 |
| | | | 20-août | 13,3 | 15,5 | 12,8 |
| | Argile | <i>Denver</i> | 05-juil | 0,0 | 0,1 | 0,0 |
| | | | 19-juil | 0,6 | 0,5 | 0,4 |
| | | | 02-août | 3,6 | 3,6 | 3,5 |
| | | | 20-août | 13,1 | 10,6 | 12,1 |
| Argile | <i>Maritime</i> | 05-juil | 0,2 | 0,2 | 0,2 | |
| | | 19-juil | 1,1 | 1,3 | 1,1 | |
| | | 02-août | 5,3 | 6,4 | 5,7 | |
| | | 20-août | 13,0 | 16,4 | 14,8 | |
| 2013 | Sable | <i>Anger</i> | 26-juin | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| | | | 11-juil | 0,7 | 0,5 | 0,5 |
| | | | 24-juil | 3,3 | 3,9 | 2,8 |
| | | | 26-juin | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| | Argile | <i>Denver</i> | 11-juil | 0,5 | 0,7 | 0,5 |
| | | | 24-juil | 3,1 | 4,0 | 3,6 |
| | | | 24-juil | 0,1 | 0,2 | |
| | | | 09-août | 1,7 | 1,5 | 1,5 |
| Argile | <i>Denver 1</i> | 20-août | 5,0 | 6,5 | 4,3 | |
| | | 24-juil | 0,1 | | | |
| | | 09-août | 1,2 | 1,6 | 1,7 | |
| | | <i>Denver 2</i> | 20-août | 4,1 | 4,0 | 3,8 |

Tableau 10. Paramètres et données de l'analyse technico-économique.

| | Sable 2011 | | | Sable 2012 Denver | | | Sable 2012 Anger | | | Sable 2013 Denver | | | | | |
|--|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------|--------|--|--|
| | 50 % RU | 35 % RU | TEM | 50 % RU | 35 % RU | TEM | 50 % RU | 35 % RU | TEM | 50 % RU | 35 % RU | TEM | | | |
| Données techniques | | | | | | | | | | | | | | | |
| Superficie (ha) | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | | |
| Rendement (t/ha) | 19,6 _a | 19,2 _a | 17,3 _b | 19,53 _a | 18,63 _a | 12,07 _b | 26,42 _a | 26,82 _a | 15,36 _b | 10,16 _b | 12,36 _a | 8,71 _c | | | |
| Rendement utilisé (t/ha) | 19,4 | | 17,3 | 19,08 | | 12,07 | 26,62 | | 15,36 | 10,16 | 12,36 | 8,71 | | | |
| Différentiel de rendement | 12% | | | 58% | | | 73% | | | 17% | | | 42% | | |
| Rendement ajusté (t/ha) | 8,25 | | 7,36 | 11,63 | | 7,36 | 12,76 | | 7,36 | 8,59 | 10,44 | 7,36 | | | |
| Nombre d'irrigations | 4 | 6,5 | 0 | 5,25 | 6,5 | 0 | 4,75 | 8,25 | 0 | 2 | 4 | 0 | | | |
| Nombre d'irrigations moyen | 5,25 | | 0 | 5,875 | | 0 | 6,5 | | 0 | 2 | 4 | 0 | | | |
| Revenus | | | | | | | | | | | | | | | |
| Prix au volume (\$/t) | 356,38 | | 339,41 | 356,38 | | 339,41 | 356,38 | | 339,41 | 356,38 | | 339,41 | | | |
| Prime de prix à la superficie (\$/ha) | 284,05 | | 284,05 | 284,05 | | 284,05 | 284,05 | | 284,05 | 284,05 | | 284,05 | | | |
| Revenus (\$/ha) | 3 225 | | 2 782 | 4 430 | | 2 782 | 4 830 | | 2 782 | 3 344 | | 4 006 | 2 782 | | |
| Revenus en plus (\$/ha) | | 443 | | | 1 648 | | | 2 048 | | 562 | | 1 224 | | | |
| Coûts variables | | | | | | | | | | | | | | | |
| Irrigation(\$/m/ha) | 22,68 | | 22,68 | 22,68 | | 22,68 | 22,68 | | 22,68 | 22,68 | | 22,68 | | | |
| Irrigation(\$/ha) | 119,07 | | 0,00 | 133,25 | | 0,00 | 147,42 | | 0,00 | 45,36 | | 90,72 | 0,00 | | |
| Transport en camion réfrigéré (\$/t) | 20 | | 20 | 20 | | 20 | 20 | | 20 | 20 | | 20 | 20 | | |
| Transport en camion réfrigéré (\$/ha) | 165,07 | | 147,20 | 232,69 | | 147,20 | 255,11 | | 147,20 | 171,71 | | 208,89 | 147,20 | | |
| Intérêts court terme (\$/ha) | 9,94 | | 5,15 | 12,81 | | 5,152 | 14,09 | | 5,152 | 7,60 | | 10,49 | 5,152 | | |
| Contributions au plan conjoint(\$/ha) | 58,06 | | 50,08 | 79,75 | | 50,08 | 86,94 | | 50,08 | 60,19 | | 72,11 | 50,08 | | |
| Total des coûts variables (\$/ha) | 352,14 | | 202,43 | 468,49 | | 202,43 | 503,55 | | 202,43 | 284,85 | | 382,20 | 202,43 | | |
| Coûts variables en plus (\$/ha) | | 149,71 | | | 256,06 | | | 301,12 | | 82,42 | | 179,77 | | | |
| Coûts fixes | | | | | | | | | | | | | | | |
| Amortissement linéaire (100 % d'allocation) (\$/ha) | 658,53 \$ | | - \$ | 658,53 \$ | | - \$ | 658,53 \$ | | - \$ | 658,53 \$ | | 658,53 \$ | - \$ | | |
| Amortissement linéaire (50 % d'allocation) (\$/ha) | 329,27 \$ | | - \$ | 329,27 \$ | | - \$ | 329,27 \$ | | - \$ | 329,27 \$ | | 329,27 \$ | - \$ | | |
| Amortissement linéaire (33 % d'allocation) (\$/ha) | 219,51 \$ | | - \$ | 219,51 \$ | | - \$ | 219,51 \$ | | - \$ | 219,51 \$ | | 219,51 \$ | - \$ | | |
| Total des coûts en plus (100 % d'allocation) (\$/ha) | 808,24 \$ | | | 914,59 \$ | | | 959,66 \$ | | | 740,95 \$ | | 838,31 \$ | | | |
| Total des coûts en plus (50 % d'allocation) (\$/ha) | 478,98 \$ | | | 585,33 \$ | | | 630,39 \$ | | | 411,69 \$ | | 509,04 \$ | | | |
| Total des coûts en plus (33 % d'allocation) (\$/ha) | 369,22 \$ | | | 475,57 \$ | | | 520,63 \$ | | | 301,93 \$ | | 399,28 \$ | | | |
| Solde (100 % d'allocation) (\$/ha) | | (364,95) \$ | | | 733,67 \$ | | | 1 088,07 \$ | | (179,39) \$ | | 385,77 \$ | | | |
| Solde (50 % d'allocation) (\$/ha) | | (35,68) \$ | | | 1 062,94 \$ | | | 1 417,33 \$ | | 149,88 \$ | | 715,04 \$ | | | |
| Solde (33 % d'allocation) (\$/ha) | | 74,08 \$ | | | 1 172,69 \$ | | | 1 527,09 \$ | | 259,63 \$ | | 824,79 \$ | | | |

