

Rapport final

No projet : IA221671

**Mise à l'essai d'un système d'irrigation goutte-à-goutte mobile en contexte d'entreprises
spécialisées dans la production de pommes de terre**

Jérémie Vallée et Carl Boivin

Responsable scientifique : Carl Boivin

Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA)

Mars 2024

Section 1 - Chercheur impliqué et responsable autorisé de l'établissement

Carl Boivin

Chercheur - Régie de l'eau en productions fruitière et maraîchère
Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA)
2700, rue Einstein, Québec (Québec) G1P 3W8

carl.boivin@irda.qc.ca

418 643-2380, poste 430

Vincent Pelletier

Directeur adjoint – Pratiques agricoles
Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA)
2700, rue Einstein, Québec (Québec) G1P 3W8

vincent.pelletier@irda.qc.ca

418 643-2380, poste 630

Section 2 – Équipe de réalisation

- Équipe de recherche de l'IRDA en régie de l'eau en productions végétales
 - Carl Boivin, Jérémie Vallée, Lélia Anderson, Paul Deschênes, Antoine Lamontagne, Francis-Olivier Lortie, Félix Lavoie-Lochet et Megann Desrochers
- Ferme Daniel Blais
 - Frédéric Blais
- Maxi-Sol
 - Francis Desrochers
- RIEGO
 - Mathieu Ricard

MISE À L'ESSAI D'UN SYSTÈME D'IRRIGATION GOUTTE-À-GOUTTE MOBILE EN CONTEXTE D'ENTREPRISES SPÉCIALISÉES DANS LA PRODUCTION DE POMMES DE TERRE

Jérémie Vallée et Carl Boivin

No de projet : IA221672

Durée : Mars 2021/Mars 2024

FAITS SAILLANTS

En contexte de production commerciale de pommes de terre à l'Île d'Orléans et à Saint-Paul de Joliette, un pivot central existant a été converti en un système d'irrigation par goutte-à-goutte mobile (IGGM). Ultimement, cela implique de remplacer les gicleurs en place par des tubulures de goutte-à-goutte, espacées d'environ 91 cm l'une de l'autre. Une extrémité de chacun des tubes repose au sol, alors que celle qui est connectée au pivot permet à l'ensemble d'être mu. Les apports d'eau sont donc essentiellement faits au sol, sous la canopée, limitant ainsi les risques de pertes consécutives à la dérive, à l'évaporation et au détournement de l'eau dans l'entre rangs (effet parapluie du plant). Entre-temps, les défis qu'a représentés un approvisionnement en eau de surface, en ce qui a trait aux exigences de filtration du IGGM, sont devenus des enjeux techniques et économiques. Les problèmes techniques surmontés, le protocole à suivre s'est buté à la saison pluvieuse de 2023. Comme alternative, l'outil EstimEau a été utilisé pour comparer les deux systèmes en termes de nombre d'irrigations déclenché et de volume d'eau apporté, et ce, avec les conditions météo historiques (1998 à 2022) de chacun des sites et selon un contexte de production qui se rapproche de ces derniers. Les résultats attribuent à l'IGGM, une économie d'eau moyenne qui varie entre 18 et 24 % pour la pomme de terre et d'un peu plus de 30 % pour le soya et le maïs-grain, mais avec un nombre d'irrigations plus élevé. En termes de frais de fonctionnement du pivot, l'IGGM permet une légère économie puisque la durée des irrigations est réduite, surtout avec une pompe électrique, comparativement à une qui fonctionne au diesel. En année de rotation, tant avec le maïs-grain que pour le soya, une augmentation de moins de 8 % des rendements couvre les frais de fonctionnement du pivot. Avec la pompe électrique, l'augmentation nécessaire n'est que de 2 %.

OBJECTIFS

1. Détailler la conversion d'un pivot central existant en un système d'irrigation goutte-à-goutte mobile (IGGM).
2. Comparer les performances agronomique, économique et environnementale du pivot central et du IGGM en contexte de production de pommes de terre et d'une culture de rotation (maïs-grain et soya).
3. Évaluer la faisabilité du IGGM en contexte de contrainte ou non d'approvisionnement en eau.
4. Diffuser les résultats pertinents auprès de la clientèle agricole.

MÉTHODOLOGIE

Les essais ont eu lieu à Saint-Jean-de-l'Île-d'Orléans (IO), à la Ferme Daniel Blais et à Saint-Paul de Joliette (SPJ) chez Maxi-Sol, deux entreprises spécialisées dans la culture de la pomme de terre. Pour chacun des sites, une moitié du champ à la portée du pivot a été en pommes de terre et l'autre en culture de rotation (maïs-grain et soya). En contexte de pommes de terre, les deux traitements ont été : 1) un témoin qui n'implique aucun changement au système actuel (aspersion); et 2) un système d'irrigation goutte-à-goutte mobile (IGGM), qui implique de convertir le pivot central. Ces deux traitements ont été distribués en blocs aléatoires où les travées des pivots servaient de blocs. Au site IO, les 5^e et 6^e travées ont été utilisées pour mettre en place les traitements et au site SPJ, les 3^e et 4^e. Pour chacune des deux travées utilisées, une moitié était occupée par le témoin et l'autre par l'IGGM. L'arrangement des traitements a été établi de façon aléatoire. En culture de rotation (maïs-grain ou soya), le témoin « aspersion » est devenu le témoin non irrigué et l'IGGM, le traitement irrigué. Des valves permettaient de couper l'alimentation en eau des gicleurs. L'apport en eau via le pivot central était de 20 mm par irrigation, alors qu'avec le pivot « IGGM » cet apport était de 10 mm. La décision de déclencher l'irrigation était prise par le producteur.

RÉSULTATS SIGNIFICATIFS POUR L'INDUSTRIE

Pour l'instant, il est difficile de se prononcer sur la faisabilité du système IGGM dans un contexte de production au Québec. Il pourrait certainement procurer des bénéfices en ce qui a trait à une diminution du besoin en eau d'irrigation. Ces bénéfices sont toutefois plombés par l'investissement important nécessaire à la conversion du pivot existant. Les essais réalisés manuellement avec l'IGGM ont permis de décrire la distribution de l'eau dans le système cultural de la pomme de terre. Il semble que l'approvisionnement en eau soit plus adéquat lorsque la tubulure se retrouve en position parallèle aux billons, que perpendiculaire à ceux-ci, ce qui ne serait pas un enjeu avec une rampe automotrice ou avec un patron de semis en arc de cercle. Cependant, la superficie et la disposition des champs au Québec limitent la faisabilité de cette configuration. Ces éléments renforcent aussi la pertinence d'adopter des pratiques culturales permettant de diminuer la compaction dans l'entre-billon et y favoriser la colonisation par les racines. Les simulations générées par l'outil EstimEau ont permis de comparer le système IGGM avec un pivot central en termes de nombre d'irrigations et de volume d'eau apporté à l'aide de données météo historiques (1998-2022). Les résultats attribuent à l'IGGM, une économie d'eau moyenne qui varie entre 18 et 24 % pour la pomme de terre et d'un peu plus de 30 % pour le soya et le maïs-grain, mais avec un nombre d'irrigations plus élevé. L'analyse économique s'appuie sur le fait que l'entreprise possède déjà un système d'irrigation et c'est la culture de pommes de terre qui assume l'ensemble des frais de possession. Il est à noter que les frais de possession qui incluent normalement les amortissements, les intérêts sur les emprunts nécessaires à l'achat et les assurances doivent tout de même être assumés l'année de rotation. De plus, la culture de pomme de terre assume l'ensemble des frais d'approvisionnement en eau. En termes de frais de fonctionnement du pivot, l'IGGM permet une légère économie puisque la durée des irrigations est réduite, surtout avec une pompe électrique, comparativement à une qui fonctionne au diesel. En année de rotation, tant avec le maïs-grain que pour le soya, une augmentation de moins de 8 % des rendements couvre les frais de fonctionnement. Avec la pompe électrique, l'augmentation nécessaire n'est que de 2 %. Il faut toutefois composer avec un nombre plus élevé d'irrigations qui sont conséquentes à un apport qui se rapproche davantage du prélèvement quotidien de la culture. Il faut aussi tenir compte que ces simulations ont identifié une réduction de la quantité d'eau brute qui ne fait pas intervenir l'efficacité réelle des systèmes. À l'instar de cet exercice, certaines études confirment que le système IGGM permet une économie d'eau intéressante par rapport à l'utilisation d'un pivot central conventionnel.

SUIVI À DONNER

La compagnie Dragon-Line, établie aux États-Unis, distribue le produit (IGGM) qui a fait l'objet du projet. Il a attiré notre attention en étant récipiendaire du prix « nouveau produit de l'année » décerné lors de l'édition de 2016 de l'*Irrigation Show* qui s'est tenu à Las Vegas. Les produits présentés à ce concours font toujours l'objet d'un intérêt de la part de l'équipe de recherche en régie de l'eau de l'IRDA. En 2025 et 2026 se tiendront des Vitrines InnEAUvation où différentes bonnes pratiques de gestion de l'eau (BPGE) seront mises en démonstration en condition de production réelle. Comme les sites décrits sont fonctionnels, il est proposé d'ajouter l'IGGM à la liste des BPGE qui seront évalués et éventuellement intégrés aux activités de démonstration.

POINT DE CONTACT POUR INFORMATION

Responsable du projet : Carl Boivin (IRDA)
418 643-2380, poste 430
carl.boivin@irda.gc.ca

REMERCIEMENTS AUX PARTENAIRES FINANCIERS

Ces travaux ont été réalisés grâce à une aide financière du Programme Innov'Action agroalimentaire, un programme issu de l'Accord Canada-Québec de mise en œuvre du Partenariat canadien pour l'agriculture conclu entre le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation et Agriculture et Agroalimentaire Canada.

Ce projet a bénéficié d'une contribution financière du Consortium de recherche sur la pomme de terre du Québec (CRPTQ).

Section 4 - Activité de transfert et de diffusion scientifique

Le rapport final vient d'être terminé. Il est prévu de diffuser les résultats du projet dans les prochains mois.

Section 5 - Activités de diffusion et de transfert aux utilisateurs

Présentation du projet lors de conférences

- Conférence - Quand intervenir avec l'irrigation? - Webinaire Gestion de l'eau dans la pomme de terre, 1^{er} mars 2022.
- Conférence - Usages de l'eau sur une entreprise agricole et valorisation des précipitations - Colloque sur la gestion de l'eau à la ferme, CRAAQ, 1^{er} avril 2022, [https://www.craaq.qc.ca/Evenements-du-CRAAQ/colloque-sur-la-gestion-de-l eau-a-la-ferme/e/2602#tab tab-programme](https://www.craaq.qc.ca/Evenements-du-CRAAQ/colloque-sur-la-gestion-de-l-eau-a-la-ferme/e/2602#tab_tab-programme)
- Conférence - Rencontre de la table sectorielle grandes cultures, MAPAQ, 27 janvier 2022.
- Conférence - Rencontre conseillers grandes cultures MAPAQ, 16 novembre 2022.

Section 6 – Grille de transfert des connaissances

<p>1. Résultats Présentez les faits saillants (maximum de 3) des principaux résultats de votre projet.</p>	<p>2. Utilisateurs Pour les résultats identifiés, ciblez les utilisateurs qui bénéficieront des connaissances ou des produits provenant de votre recherche.</p>	<p>3. Message Concrètement, quel est le message qui devrait être retenu pour chacune des catégories d'utilisateurs identifiées? Présentez un message concret et vulgarisé. Quels sont les gains possibles en productivité, en rendement, en argent, etc.?</p>	<p>4. Cheminement des connaissances a) Une fois le projet terminé, outre les publications scientifiques, quelles sont les activités de transfert les mieux adaptées aux utilisateurs ciblés? (conférences, publications écrites, journées thématiques, formation, etc.) b) Selon vous, quelles pourraient être les étapes à privilégier en vue de maximiser l'adoption des résultats par les utilisateurs.</p>
<p>Des résultats indiquent que le système IGGM permet une économie d'eau moyenne entre 18 et 24 % pour la pomme de terre et d'un peu plus de 30 % pour le soya et le maïs-grain.</p>	<p>Producteurs et conseillers</p>	<p>La hauteur d'eau appliquée par épisode par l'IGGM est inférieure à celle du pivot conventionnel (aspersion). Ce qui diminue le risque qu'un épisode de pluie survienne alors que la hauteur d'eau apportée par l'irrigation n'a pas été entièrement prélevée.</p>	<p>a) Formations, Conférences, Vidéo, Balado. b) Poursuivre le suivi des sites où la conversion a été effectuée.</p>
<p>La conversion d'un pivot central existant en système IGGM implique des enjeux techniques et économiques.</p>	<p>Producteurs et conseillers</p>	<p>Pour être performant, le système d'irrigation IGGM nécessite une bonne filtration (eau de surface), une surveillance accrue et une augmentation des frais d'entretien. De plus, le coût de conversion élevé est un frein à son adoption.</p>	<p>a) Formations, Conférences, Vidéo, Balado. b) Poursuivre le suivi des sites où la conversion a été effectuée.</p>
<p>En année de rotation, tant avec le maïs-grain que pour le soya, une augmentation de moins de 8 % des rendements couvre les frais de fonctionnement. Avec la pompe électrique, l'augmentation nécessaire n'est que de 2 %.</p>	<p>Producteurs et conseillers</p>	<p>Une gestion raisonnée de l'irrigation en année de rotation s'avère économique justifiable si les pertes dues au stress hydrique sont d'au moins 8 ou 2 % selon le type de pompe (diesel, électrique) qui est utilisé. Il est à noter que l'objectif poursuivi avec l'irrigation durant l'année de rotation est de type « assurance récolte ».</p>	<p>a) Formations, Conférences, Vidéo, Balado.</p>

Section 7 - Contribution et participation de l'industrie réalisées

- Ferme Daniel Blais
 - Frédéric Blais
- Maxi-Sol
 - Francis Desrochers
- RIEGO
 - Mathieu Ricard

Section 8 - Rapport scientifique et/ou technique

Rapport final

No projet : IA221671

Mise à l'essai d'un système d'irrigation goutte-à-goutte mobile en contexte d'entreprises spécialisées dans la production de pommes de terre

Jérémie Vallée et Carl Boivin

Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA)

Mars 2024

PARTENAIRE FINANCIER ET DE RÉALISATION

Ces travaux ont été réalisés grâce à une aide financière du Programme Innov'Action agroalimentaire, un programme issu de l'Accord Canada-Québec de mise en œuvre du Partenariat canadien pour l'agriculture conclu entre le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation et Agriculture et Agroalimentaire Canada.

Ce projet a bénéficié d'une contribution financière du Consortium de recherche sur la pomme de terre du Québec (CRPTQ).

ÉQUIPE DE RÉALISATION

- IRDA
 - Carl Boivin, Jérémie Vallée, Lélia Anderson, Paul Deschênes, Antoine Lamontagne, Francis-Olivier Lortie, Félix Lavoie-Lochet et Megann Desrochers
- Ferme Daniel Blais
 - Frédéric Blais
- Maxi-Sol
 - Francis Desrochers
- RIEGO
 - Mathieu Ricard

Pour informations :

Responsable scientifique

Carl Boivin
Chercheur | Régie de l'eau en productions végétales
Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA)
2700, rue Einstein, Québec (Québec) G1P 3W8
418 643-2380, poste 430
carl.boivin@irda.qc.ca

Ce rapport peut être cité comme suit:

Vallée, J. et C. Boivin. 2024. Mise à l'essai d'un système d'irrigation goutte-à-goutte mobile en contexte d'entreprises spécialisées dans la production de pommes de terre. Rapport final. IRDA. 61 pages.

RÉSUMÉ

Ce projet avait comme principal objectif d'optimiser l'utilisation de l'eau dans un système cultural typique de la pomme de terre où il est possible d'intervenir avec l'irrigation. Pour ce faire, un pivot central existant a été converti en un système d'irrigation par goutte-à-goutte mobile (IGGM). Ultimement, cela implique de remplacer les gicleurs en place par des tubulures de goutte-à-goutte, espacées d'environ 91 cm l'une de l'autre. Une extrémité de chacun des tubes repose au sol, alors que celle qui est connectée au pivot permet à l'ensemble d'être mu. Les apports d'eau sont donc essentiellement faits au sol, sous la canopée, limitant ainsi les risques de pertes conséquents à la dérive, à l'évaporation et au détournement de l'eau dans l'entre rangs (effet parapluie du plant). De plus, ce type de système évite de mouiller le feuillage et ainsi, de délayer les fongicides qui s'y trouvent. Aussi, la hauteur d'eau appliquée par épisode peut se rapprocher davantage du prélèvement quotidien de la culture, ce qui diminue la pression sur le lessivage du nitrate et la diminution de l'efficacité due à un épisode de pluie peu de temps après l'irrigation. Cette pratique a été adoptée par certains producteurs aux États-Unis qui y trouvent leur compte lorsqu'utilisée en contexte d'approvisionnement en eau contraignant. L'utilisation de cet équipement peut aussi être envisagée pour intervenir avec l'irrigation lors de l'année où une culture de rotation remplace celle de la pomme de terre. Concrètement, des sections de travées de deux pivots existants ont été converties en IGGM, afin de comparer cette technique à celle qui a cours normalement avec un pivot central (aspersion). Ces essais ont été réalisés à l'Île d'Orléans et dans la région des tourbières de Lanoraie, soit des milieux où l'approvisionnement en eau peut devenir un facteur limitatif. Annuellement, quatre champs ont été à l'étude, soit deux en pommes de terre, un en maïs-grain et un en soya.

Quoique sa pertinence soit encore à démontrer en contexte de production commerciale au Québec, l'IGGM a le potentiel de devenir un moyen pour améliorer l'efficacité d'utilisation de l'eau d'irrigation. Le contexte conséquent à la pandémie, aux problèmes techniques principalement reliés au colmatage des filtres et la saison pluvieuse de 2023 n'ont pas permis de respecter le protocole qui a été établi pour atteindre les résultats visés. Toutefois, les simulations générées par l'outil EstimEau ont permis de comparer le système IGGM avec un pivot central en termes de nombre d'irrigations et de volume d'eau apporté, et ce, avec les conditions météo historiques (1998 à 2022) de chacun des sites et selon un contexte de production qui se rapproche de ces derniers. Les résultats attribuent à l'IGGM, une économie d'eau moyenne qui varie entre 18 et 24 % pour la pomme de terre et d'un peu plus de 30 % pour le soya et le maïs-grain, mais avec un nombre d'irrigations plus élevé. En termes de frais de fonctionnement du pivot, l'IGGM permet une légère économie puisque la durée des irrigations est réduite, surtout avec une pompe électrique, comparativement à une qui fonctionne au diesel. Tant avec le maïs-grain que pour le soya, une augmentation de moins de 8 % des rendements couvre les frais de fonctionnement. Avec la pompe électrique, l'augmentation nécessaire n'est que de 2 %. Toutefois, ces simulations ont identifié une réduction de la quantité d'eau brute qui ne fait pas intervenir l'efficacité réelle des systèmes. De plus, les essais réalisés manuellement avec l'IGGM ont permis de décrire la distribution de l'eau apportée. Il semble que l'approvisionnement en eau soit plus adéquat lorsque la tubulure se retrouve en position parallèle avec les billons, que perpendiculaire avec ceux-ci. En contexte de rampe automotrice, cela ne serait pas un enjeu. Au Québec, la taille et la disposition des champs limitent la faisabilité de semer en arc de cercle.

TABLE DES MATIÈRES

1	Introduction et contexte	1
2	Objectifs	2
3	Méthodologie.....	3
3.1	Sites.....	3
3.1.1	Site Île d'Orléans (IO).....	3
3.1.2	Saint-Paul de Joliette (SPJ).....	3
3.2	Conversion des pivots en IGGM.....	3
3.3	Traitements et dispositifs expérimentaux.....	4
3.4	Suivi du statut hydrique du sol.....	4
3.5	Consignes d'irrigation.....	4
3.6	Conditions météorologiques et évapotranspiration potentielle (ET _p).....	5
3.7	Essais « Compensateurs ».....	5
3.7.1	Essai « Mouvement de l'eau dans le sol – Automne 2022 ».....	5
3.7.2	Essai « Scénarios d'irrigation selon le site, la culture et les conditions météo »	6
3.7.2.1	Site IO.....	6
3.7.2.2	Site SPJ.....	6
3.8	Coûts.....	7
4	Résultats	8
4.1	Statut hydrique du sol et réserve en eau du sol facilement utilisable par la culture (RFU)	8
4.1.1	Site SPJ	8
4.1.2	Site IO	10
4.2	Précipitations.....	12
4.3	Comparer les performances agronomique, économique et environnementale du pivot central et du IGGM en contexte de production de pommes de terre et d'une culture de rotation (maïs et soya).....	13
4.3.1	Difficultés rencontrées.....	13
4.3.2	Essai « Mouvement de l'eau dans le sol automne 2022 »	14
4.3.3	Essai « Scénarios d'irrigation selon le site, la culture et les conditions météo »	16
4.3.4	Bris mécanique de la culture	19
4.3.5	Problématiques potentielles	19
4.3.6	Coûts.....	20
4.4	Évaluer la faisabilité du IGGM en contexte de contrainte ou non d'approvisionnement en eau.....	21
5	Conclusion	22
6	Références.....	23
7	Annexe 1 - Photos.....	24
8	Annexe 2 – Analyse économique CECPA	35

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Pluviométrie cumulative mensuelle (mai à octobre) et totale (mm) et normales climatiques de la pluviométrie mensuelle (mm) pour la station la plus près, selon le site et l'année.....	12
Tableau 2. Valeur moyenne des besoins en eau estimés (m ³ /ha) et en nombre d'épisodes d'irrigation par saison (n ^{bre} /saison) selon le site, la culture et le type de système d'irrigation.....	18
Tableau 3. Valeur moyenne d'économie d'eau (%), réalisée avec un pivot « IGGM » comparativement à un pivot « conventionnel ».....	18
Tableau 4. Détaillé des coûts (\$) d'une conversion d'un pivot en système IGGM.	20

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Chronique de la teneur en eau volumique du sol (cm^3 eau / cm^3 sol) et pluviométrie quotidienne (mm), site SPJ, saison 2022.....	8
Figure 2. Chronique de la teneur en eau volumique du sol (cm^3 eau / cm^3 sol), site SPJ, 7 au 19 août 2022.....	8
Figure 3. Évapotranspiration de la culture estimée par TDR (ET_c -TDR) (mm), évapotranspiration potentielle (ET_p), site SPJ, 7 au 19 août 2022.....	9
Figure 4. Chronique de la teneur en eau volumique du sol (cm^3 eau / cm^3 sol) et pluviométrie quotidienne (mm), site IO, saison 2022.....	10
Figure 5. Chronique de la teneur en eau volumique du sol (cm^3 eau / cm^3 sol), site IO, 7 au 12 août 2022.....	10
Figure 6. Chronique de la teneur en eau volumique du sol (cm^3 eau / cm^3 sol), site IO, 23 au 30 juillet 2022.....	11
Figure 7. Évapotranspiration de la culture estimée par TDR (ET_c -TDR) (mm), évapotranspiration potentielle (ET_p), site IO, 24 au 30 juillet 2022.....	11
Figure 8. Disposition des 11 sondes TDR dans le système cultural en configuration « parallèle aux billons ».....	14
Figure 9. Disposition des 10 sondes TDR dans le système cultural en configuration « perpendiculaire aux billons ».....	15
Figure 10. Besoins en eau estimés sur une base annuelle en termes de volume (m^3) et de nombre d'irrigations selon le type de système, en contexte de pommes de terre au site IO.....	16
Figure 11. Besoins en eau estimés sur une base annuelle en termes de volume (m^3) et de nombre d'irrigations selon le type de système, en contexte de maïs-grain au site IO.....	16
Figure 12. Besoins en eau estimés sur une base annuelle en termes de volume (m^3) et de nombre d'irrigations selon le type de système, en contexte de pommes de terre au site SPJ.....	17
Figure 13. Besoins en eau estimés sur une base annuelle en termes de volume (m^3) et de nombre d'irrigations selon le type de système, en contexte de soya au site SPJ.....	17
Figure 14. Vue d'ensemble du système IGGM Dragon-Line.....	24
Figure 15. Vue de près du goutte-à-goutte fixé sur les pendillards flexibles.....	25
Figure 16. Montage du système de câble d'acier sur la structure du pivot existante avec treuil.....	26
Figure 17. Installation de la ligne secondaire d'eau sur le câble d'acier (T à insertion) à l'aide de broches à enrouler.....	27
Figure 18. Montage final de la ligne secondaire d'eau sur le câble d'acier (connecteur T à insertion).....	28
Figure 19. Montage de système hybride sur les pendillards du pivot (tuyau noir), T à compression sur la ligne d'eau secondaire.....	29
Figure 20. Filtreur Amiad installé sur la ligne d'arrivée d'eau du pivot.....	30
Figure 21. Système cyclonique de prétraitement de l'eau (séparateur de sable).....	31
Figure 22. Bris mécanique d'un T à compression.....	32
Figure 23. Bris mécanique d'un pendillard du pivot.....	33
Figure 24. Bris mécanique du T à insertion dû au maintien des tubes g-à-g au sol par le gel.....	34

1 Introduction et contexte

Plus du tiers des 17 000 ha en pommes de terre au Québec sont équipés pour être irrigués et la plupart des équipements utilisés sont des pivots (central, linéaire). Annuellement, il est raisonnable d'évaluer un besoin moyen en eau de 2000 m³ (10 épisodes de 20 mm) pour maintenir la culture en situation de confort hydrique en contexte de sol sableux. Selon la superficie irriguée, la situation peut rapidement devenir problématique en contexte d'approvisionnement en eau contraignant. Cet enjeu peut rapidement affecter négativement la rentabilité de l'entreprise. D'autant plus que les pivots ne sont généralement pas utilisés durant l'année de rotation. Par ailleurs, l'aspersion occasionne une pression sur le lessivage du nitrate et sur le délavage des fongicides (protectant) appliqués sur le feuillage. Ce délavage peut mener à des applications supplémentaires de pesticides, avec les risques environnementaux et les coûts qui s'y rattachent. Aussi, en mouillant le feuillage, l'aspersion peut augmenter le risque de développement de maladies. Ce projet vise à réduire les risques ayant trait au contexte décrit précédemment. Pour ce faire, il s'intéresse à l'intérêt agronomique, économique et environnemental de convertir un pivot existant en un système d'irrigation par goutte-à-goutte mobile (IGGM). La compagnie Dragon-Line distribue un tel produit et cette dernière a attiré notre attention en étant récipiendaire du prix « nouveau produit de l'année » décerné lors de l'édition de 2016 de l'*Irrigation Show* qui s'est tenu à Las Vegas. Enfin, après avoir obtenu un financement auprès du Programme Innov'Action agroalimentaire, un programme issu de l'Accord Canada-Québec de mise en œuvre du Partenariat canadien pour l'agriculture conclu entre le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation et Agriculture et Agroalimentaire Canada et du Consortium de recherche sur la pomme de terre du Québec (CRPTQ), le projet s'est déroulé en contexte de production commerciale à l'Île d'Orléans et près des tourbières de Lanoraie de 2021 à 2023. Le choix de ces sites n'est pas étranger au fait que l'approvisionnement en eau peut devenir contraignant certaines années.

2 Objectifs

1. Détailler la conversion d'un pivot central existant en un système d'irrigation goutte-à-goutte mobile (IGGM).
2. Comparer les performances agronomique, économique et environnementale du pivot central et du IGGM en contexte de production de pommes de terre et d'une culture de rotation (maïs-grain et soya).
3. Évaluer la faisabilité du IGGM en contexte de contrainte ou non d'approvisionnement en eau.
4. Diffuser les résultats pertinents auprès de la clientèle agricole.

3 Méthodologie

3.1 Sites

3.1.1 Site Île d'Orléans (IO)

Les essais ont eu lieu dans la municipalité de Saint-Jean-de-l'Île-d'Orléans à la Ferme Daniel Blais, une entreprise spécialisée dans la culture de la pomme de terre, du haricot et des grandes cultures sur une superficie d'environ 400 ha. Le champ qui a été utilisé pour le projet (46.919375°, -70.912132°) est subdivisé en deux, soit une section en pommes de terre (variété Chieftain) et l'autre en maïs-grain. Annuellement, ces cultures s'alternent, pour une section donnée. Le projet s'est déroulé en contexte de régie conventionnelle. Le pivot utilisé (Otech, ST168) a un rayon de 392 m dont la portée permet de couvrir une superficie de 48 ha, soit 24 en pommes de terre et 24 en maïs-grain. Il est composé de 6 travées (62 ou 63 m) qui se terminent par une extension (19 m) dont l'extrémité est munie d'un canon. Le débit nominal du pivot est de 180 m³/h avec des gicleurs (Nelson, R3030 rotator) munis de régulateurs de pression à 1,4 bar.

3.1.2 Saint-Paul de Joliette (SPJ)

Les essais ont eu lieu dans la municipalité de Saint-Paul de Joliette à la Ferme Maxi-Sol, une entreprise spécialisée dans la culture de la pomme de terre de table. Le champ où le projet s'est déroulé (45.957401°, -73.374725°) est subdivisé en deux, soit une section en pommes de terre (variété Vivaldi) et l'autre en soya. Le projet s'est déroulé en contexte de régie conventionnelle. Le pivot utilisé (Otech, ST168) a un rayon de 323 m dont la portée permet de couvrir 32 ha, mais en pratique, 50 % de la surface qui peut être couverte est aménagé pour la production agricole. Concrètement, le pivot pouvait être déployé sur 16 ha dont 8 ha sont en pommes de terre et 8 ha en soya (culture rotation). Les 4 premières travées ont une longueur de 62 m et la dernière de 56 m, auxquelles s'ajoute une extension de 19 m qui culmine avec un canon. Le débit nominal du pivot était de 123 m³/h avec des gicleurs (Nelson, R3030 rotator ou R3000) munis de régulateurs de pression à 1,4 bar.

3.2 Conversion des pivots en IGGM

La conversion des pivots s'est effectuée à l'aide d'un système de pendillards et de tuyaux de goutte-à-goutte compensateurs de pression (Figure 14, Figure 15). Ce système hybride est commercialisé sous la marque Dragon-Line. Pour installer le système de pendillards flexibles, un câble d'acier (6,4 mm de diamètre) a été installé et tendu directement sur la structure du pivot (Figure 16). La ligne secondaire d'alimentation en eau (Dragon-Line, Flex Hose) de 12,7 mm de diamètre interne a ensuite été fixée sur le câble d'acier à l'aide de broches à enrouler (Figure 17). Les pendillards (longueur de 3 m) ont été installés et espacés entre eux de 91,4 cm sur la ligne d'eau secondaire avec des connecteurs à insertion en plastique conventionnel qui ont la forme d'un « T », tandis que les certaines jonctions ont été réalisées avec des pièces à compression (Figure 18, Figure 19). À l'extrémité des pendillards flexibles, les tuyaux de goutte-à-goutte ont été raccordés avec des connecteurs de type « unions » à insertion. L'espacement des goutteurs, qui sont compensateurs de pression, était au 15 cm avec un débit à 7,9 lph/goutteur. La longueur de chaque tuyau de goutte-à-goutte a été déterminée en fonction de l'apport en eau visée, qui tient aussi compte de la vitesse d'avancement du pivot par rapport au centre de rotation du pivot. Plus les lignes étaient éloignées du centre du pivot plus le tuyau de goutte-à-goutte devait être long pour maintenir une précipitation donnée, car plus les travées sont éloignées du centre du pivot plus leur vitesse tangentielle est grande. Ce même phénomène existe également dans la conception des pivots utilisant des systèmes par aspersion où l'intensité de précipitations des gicleurs éloignés du centre du pivot est plus importante que ceux plus près du centre. Des valves ont ensuite été ajoutées dans les sections converties afin de permettre l'utilisation des gicleurs en cas de problème avec l'IGGM (Figure 19) afin de diminuer les risques pour le producteur. Une unité de filtration (Amiad, 150 mm) avec tamis 200 microns, spécifique aux caractéristiques techniques ayant trait au goutte-à-goutte utilisé, a été ajoutée au point d'entrée de l'eau du pivot (Figure 20). À la suite des premiers essais infructueux, un système de purge automatisé du filtreur a été mis en place au site SPJ pour éviter que le filtreur ne se colmate.

En 2023, pour éviter le colmatage des filtreurs, des unités de préfiltration de type cyclonique (Flow-Guard, 4206) ont été installées avant le filtreur (Figure 21).

3.3 Traitements et dispositifs expérimentaux

En contexte de pommes de terre, les deux traitements sont : 1) un témoin qui n'implique aucun changement au système actuel (aspersion); et 2) un système d'irrigation goutte-à-goutte mobile (IGGM), qui implique de convertir le système actuel. Ces deux traitements ont été distribués en blocs aléatoires où les travées des pivots servaient de blocs. Au site IO, les 5^e et 6^e travées ont été utilisées pour mettre en place les traitements et au site SPJ, les 3^e et 4^e. Pour chacune des deux travées utilisées, une moitié était occupée par le témoin et l'autre par l'IGGM. L'arrangement des traitements a été établi de façon aléatoire. En culture de rotation (maïs-grain ou soya), le témoin « aspersion » devient le témoin non irrigué et l'IGGM devient le traitement irrigué. Des valves permettaient de couper l'alimentation en eau des gicleurs.

3.4 Suivi du statut hydrique du sol

Des sondes TDR (Campbell Scientific, CS650) ont été utilisées pour le suivi du statut hydrique à raison de quatre boîtiers pour la section en pommes de terre (2 témoins aspersion et 2 IGGM) et d'un boîtier pour la section en culture de rotation (IGGM). Chacun des boîtiers était muni de quatre sondes TDR. Un boîtier par culture était muni d'un pluviomètre et d'un dispositif qui permet la communication des données à distance. La disposition des sondes TDR (avant renchaussage) était au centre de l'espace entre deux plants consécutifs sur le rang. Cette disposition ne gêne pas les opérations culturales (sarclage et renchaussage). En post renchaussage, les sondes ont été repositionnées perpendiculairement aux billons à raison d'une sonde dans l'entre-billon, une 2^e dans l'épaule du billon, une 3^e au centre et une 4^e dans l'autre épaule du même billon. En 2022, les boîtiers ont été installés en post-renchaussage, le 30 juin. Pour le site IO, l'approvisionnement en eau a été assuré par un étang d'origine anthropique. La texture était un loam sablo-argileux graveleux (série Saint-Nicolas).

Pour le site SPJ, l'équipement utilisé pour suivre le statut hydrique du sol et la façon de l'installer a été identique au site IO. En 2022, les boîtiers ont été installés en post-renchaussage, le 29 juin. L'approvisionnement en eau s'est fait dans une rivière. La texture était un loam limoneux (série L'Assomption).

3.5 Consignes d'irrigation

Les consignes d'irrigation utilisées ont été celles des producteurs. L'équipe a tout de même fait la promotion de l'approche par point tournant (PT) (Boivin et coll., 2018). Ce point est spécifique à chaque système cultural et doit être déterminé *in situ* à l'aide de tensiomètres ou de sondes TDR. Ce PT a été déterminé pour chacun des dispositifs. La hauteur d'eau visée lors d'un épisode est de 20 mm avec le pivot (aspersion) et 10 mm avec le pivot (IGGM). Pour les sites en soya et en maïs-grain, un objectif de type « assurance récolte » a été proposé par l'équipe, soit une situation de contrainte au prélèvement qui subsiste plus de 4 jours consécutifs après l'atteinte du PT.

3.6 Conditions météorologiques et évapotranspiration potentielle (ET_p)

Pour le site IO, une station météorologique a été installée à proximité du site (46.915801°, -70.938120°). La température et l'humidité relative de l'air (HC-S3, Rotronic), la radiation solaire (Li-Cor, LI200S), la vitesse et la direction du vent (R.M. Young, 05103), ainsi que la pluviométrie (Texas Electronics, TR-525M) ont été mesurées en continu et enregistrées par un acquiesiteur de données (Campbell Scientific, CR1000) relié à modem cellulaire (Microhard Systems, IPn3Gb). Au site SPJ, la température et l'humidité relative de l'air, la radiation solaire, la vitesse et la direction du vent, ainsi que la pluviométrie ont été mesurées en continu avec une station météorologique installée à quelques mètres du dispositif expérimental (Campbell Scientific, Climavue50). L'évapotranspiration potentielle (ET_p), de chaque site, a donc pu être calculée avec la formule standardisée courte de Penman-Montheith (ASCE, 2005).

À des fins de comparaison, les réseaux de stations d'Agrométéo Québec et d'Environnement et ressources naturelles Canada (normales climatiques, 1981-2010) ont été utilisés. La pluviométrie et l'évapotranspiration potentielle sont les données qui ont été comparées. Au site IO, les stations sélectionnées ont été Saint-Laurent-de-l'Île-d'Orléans et Saint-Michel, respectivement pour Agrométéo Québec et pour Environnement et ressources naturelles Canada. Pour le site SJP, les stations sélectionnées ont été Lanoraie et L'Assomption, respectivement pour Agrométéo Québec et pour Environnement et ressources naturelles Canada.

3.7 Essais « Compensateurs »

Le contexte conséquent à la pandémie, aux problèmes techniques principalement reliés au colmatage des filtres et la saison pluvieuse de 2023 n'ont pas permis de respecter le protocole qui a été établi pour atteindre les résultats visés. Pour bonifier le jeu de données, un premier essai « manuel » a été réalisé à l'automne 2022 (3.7.1). À la suite de la saison 2023, une approche théorique a été élaborée avec l'outil EstimEau (3.7.2).

3.7.1 Essai « Mouvement de l'eau dans le sol – Automne 2022 »

Un essai a été effectué le 23 septembre 2022 au site IO afin de décrire le mouvement de l'eau dans le sol selon que les tubes de goutte-à-goutte se retrouvent en position parallèle (Figure 8) ou perpendiculaire (Figure 9) aux billons de pommes de terre. Cet essai a été réalisé manuellement, c'est-à-dire que l'avancement des tubes était assuré par un humain et le système était alimenté en eau via une unité de pompage mobile. La vitesse d'avancement des deux tubes correspondait à une application de 6,5 mm. Selon la configuration, entre 10 et 11 sondes TDR (Campbell Scientific, CS650) ont été insérées dans le sol de sorte à mesurer la teneur en eau volumique moyenne des 30 premiers cm de sol avant le départ de l'irrigation et 48 heures après la fin de celle-ci.

3.7.2 Essai « Scénarios d'irrigation selon le site, la culture et les conditions météo »

L'outil EstimEau a été utilisé pour estimer le besoin en eau de la pomme de terre, du maïs-grain et du soya selon le contexte de production de chacun des sites. Cet outil est accessible à l'adresse suivante : <https://estimeau.ca>. L'estimation du besoin en eau d'une culture, généré par cet outil, repose sur une approche par bilan hydrique où le contexte de production renseigné est soumis à des conditions météorologiques historiques sur une base quotidienne. Ce besoin correspond à la quantité d'eau qu'il serait nécessaire d'apporter avec un système d'irrigation donné pour, selon l'objectif poursuivi, éviter ou tolérer un stress hydrique à la culture. Ce besoin est variable selon la culture, la superficie que celle-ci occupe, de la capacité de rétention en eau du sol, de la présence ou non de compaction qui limite l'enracinement, du moment où le bilan hydrique débute et se termine, de l'objectif visé, du type de système d'irrigation et enfin, de l'année ou du type de saison choisi. Le besoin en eau est ventilé mensuellement, en termes de volume d'eau et de nombre d'épisodes.

Pour un site, une culture donnée et une année ou groupe d'années, le seul paramètre qui est différent entre les scénarios est le système d'irrigation utilisé. Il faut spécifier le type de système utilisé. Dans ce cas-ci, ce choix a un impact sur la hauteur d'eau appliqué lors d'un épisode d'irrigation. Cette hauteur est de 20 mm, pour un pivot « conventionnel » et de 10 mm pour un pivot « goutte-à-goutte » (IGGM).

3.7.2.1 *Site IO*

En ce qui a trait au site en pomme de terre, un loam argileux a été sélectionné dans l'outil. De plus, une valeur de 25 % a été renseignée pour la proportion de particules de sol ayant un diamètre supérieur à 2 mm. Avec ces informations, l'outil considère une réserve en eau du sol facilement utilisable par la culture (RFU) maximale de 1 mm d'eau par cm de sol. Cette valeur est en accord avec ce qui a été mesuré *in situ* (4.1.1). Pour la profondeur maximale d'enracinement, elle sera de 30 cm, car il y a de la compaction. Donc, la RFU maximale de ce sol, ou la hauteur d'eau valorisable par la culture sans que celle-ci subisse de contrainte de prélèvement, est de 30 mm, lorsque la culture est à son développement maximal. La RFU maximale a également été validée avec le suivi du statut hydrique du sol réalisé au site avec les sondes TDR. Le 15 mai a été indiqué comme date de plantation et le 30 septembre comme date de récolte. Maintenant, un contexte a été produit avec un pivot conventionnel (20 mm) et un pivot IGGM (10 mm). Aussi, il est à noter que le bilan hydrique et la valeur de RFU max sont calculés sur une base quotidienne. Conséquemment, la hauteur d'eau apportée par un épisode d'irrigation sera inférieure à 20 mm, si la RFU maximale à ce moment est inférieure à cette valeur. Ce contexte a été soumis aux conditions météorologiques mesurées du 15 mai au 30 septembre, pour chacune des années comprises entre 1998 et 2022. L'outil a estimé, pour chacune des années, le besoin en eau d'irrigation en termes de volume et de nombre d'épisodes.

Pour le maïs-grain, les dates de semis et de récolte sont respectivement le 1^{er} mai et le 31 octobre. En présence de grandes cultures, l'outil impose « assurance récolte » comme objectif visé par l'irrigation. Cela implique d'attendre 4 jours avant de considérer une irrigation lorsque le bilan hydrique atteint la valeur de 0. Pour le reste, le contexte est le même que celui pour la pomme de terre.

3.7.2.2 *Site SPJ*

Pour ce site, un sable a été sélectionné dans l'outil, avec 0 % de particules au diamètre supérieur à 2 mm et de la compaction. La RFU maximale y est de 0,8 mm d'eau par cm de sol. Cette valeur est en accord avec ce qui a été mesuré *in situ* (4.1.2). La RFU maximale a également été validée avec le suivi du statut hydrique du sol réalisé au site avec les sondes TDR. Les dates de semis sont respectivement le 6 mai et le 30 septembre. Pour le soya, ces dates sont respectivement le 23 mai et le 30 septembre.

3.8 Coûts

Le volet économique a été réalisé par le CECPA. La méthodologie utilisée est décrite au rapport qui est joint à l'Annexe 2 – Analyse économique CECPA.

Brièvement, cette analyse économique s'appuie sur le fait que l'entreprise possède déjà un système d'irrigation et c'est la culture de pommes de terre qui assume l'ensemble des frais de possession. Ainsi, l'analyse inclut uniquement les frais de fonctionnement. Il est à noter que les frais de possession qui incluent normalement la dépréciation (amortissement), les intérêts sur les emprunts nécessaires à l'achat et les assurances doivent tout de même être assumés l'année de rotation. De plus, la culture de pomme de terre assume l'ensemble des frais d'approvisionnement en eau.

4 Résultats

4.1 Statut hydrique du sol et réserve en eau du sol facilement utilisable par la culture (RFU)

4.1.1 Site SPJ

Le suivi du statut hydrique du sol au site SPJ pour l'ensemble de la saison est présenté à la Figure 1. Pour évaluer la RFU du site, la période du 7 au 19 août a été utilisée pour déterminer les deux points repères, soit la capacité au champ du sol (CC) et le point tournant (PT) (Figure 2). Les précipitations cumulées du 7 et 8 août (environ 60 mm) ont permis une saturation complète du profil. Après une période de ressuyage, la variation du statut hydrique du sol est passée d'une forte pente (diminution importante du statut hydrique du sol sur une courte période de temps) à une stabilisation (peu de changement). La CC a été atteinte sur l'horizon 0-30 cm sur la butte vers 0,26 cm³ d'eau / cm³ de sol.

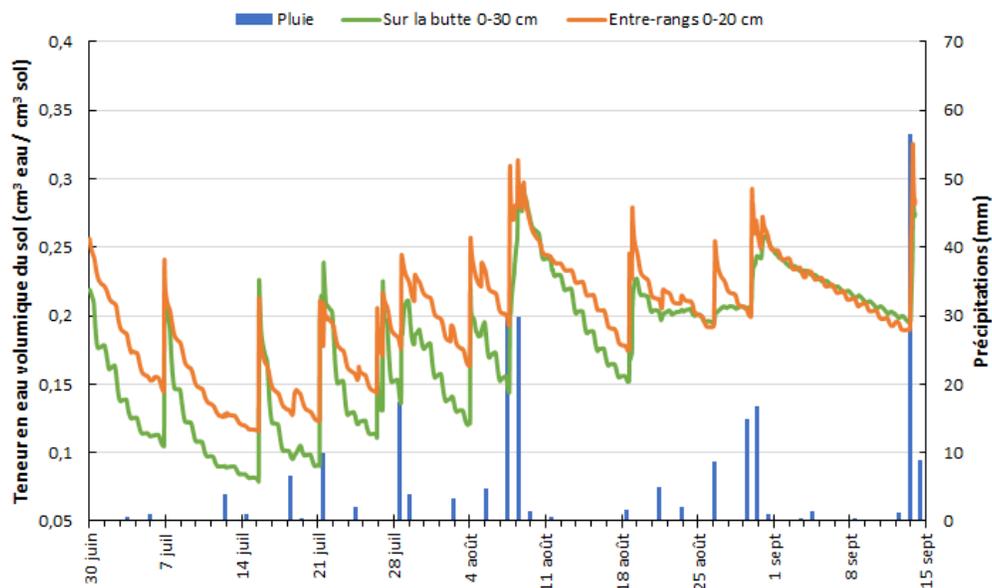


Figure 1. Chronique de la teneur en eau volumique du sol (cm³ eau / cm³ sol) et pluviométrie quotidienne (mm), site SPJ, saison 2022.

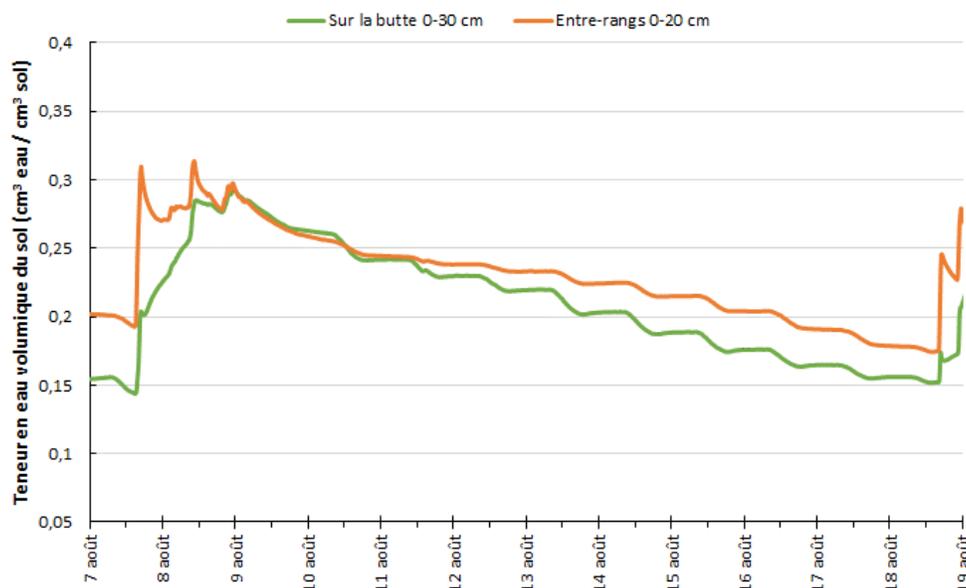


Figure 2. Chronique de la teneur en eau volumique du sol (cm³ eau / cm³ sol), site SPJ, 7 au 19 août 2022.

Il reste maintenant à identifier le PT, ou à quel statut hydrique du sol une contrainte de prélèvement est observée. Durant la période du 7 au 19 août a été utilisée, la culture y était bien développée et pratiquement aucune précipitation n'a été enregistrée. L'estimation de l'évapotranspiration de la culture par TDR (ET_{c-TDR}) et le suivi de l'évapotranspiration potentielle durant cette période sont présentés à la Figure 3. L'analyse des tendances entre l' ET_p et l' ET_{c-TDR} a permis d'identifier le 16 et 17 août comme étant des journées où une contrainte de prélèvement en eau peut être identifiée. La teneur en eau mesurée durant cette période (16 août) a été de $0,18 \text{ cm}^3 \text{ d'eau} / \text{cm}^3 \text{ de sol}$. Avec l'identification de ces points, une RFU a pu être estimée à $0,8 \text{ mm/cm}$. Cette RFU a été utilisée comme cible dans l'essai réalisé avec EstimEau.

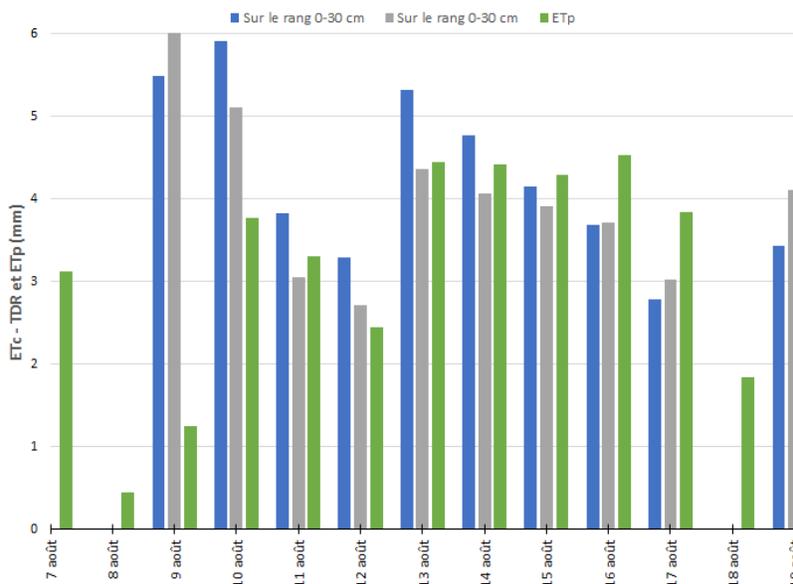


Figure 3. Évapotranspiration de la culture estimée par TDR (ET_{c-TDR}) (mm), évapotranspiration potentielle (ET_p), site SPJ, 7 au 19 août 2022.

4.1.2 Site IO

Le suivi du statut hydrique du sol réalisé au site IO est présenté à la Figure 4 pour l'ensemble de la saison. Pour évaluer la RFU du site, la période du 7 au 12 août a d'abord été utilisée pour déterminer la capacité au champ du sol (CC) (Figure 5). Les précipitations cumulées du 8 et 9 août (environ 40 mm) ont permis une saturation complète du profil (0-30 cm). Après une période de ressuyage, la variation du statut hydrique du sol est passée d'une forte pente (diminution importante du statut hydrique du sol sur une courte période de temps) à une stabilisation (peu de changement). La CC a été atteinte sur l'horizon 0-30 cm sur la butte vers $0,29 \text{ cm}^3 \text{ eau} / \text{cm}^3 \text{ sol}$ (24 à 36 heures).

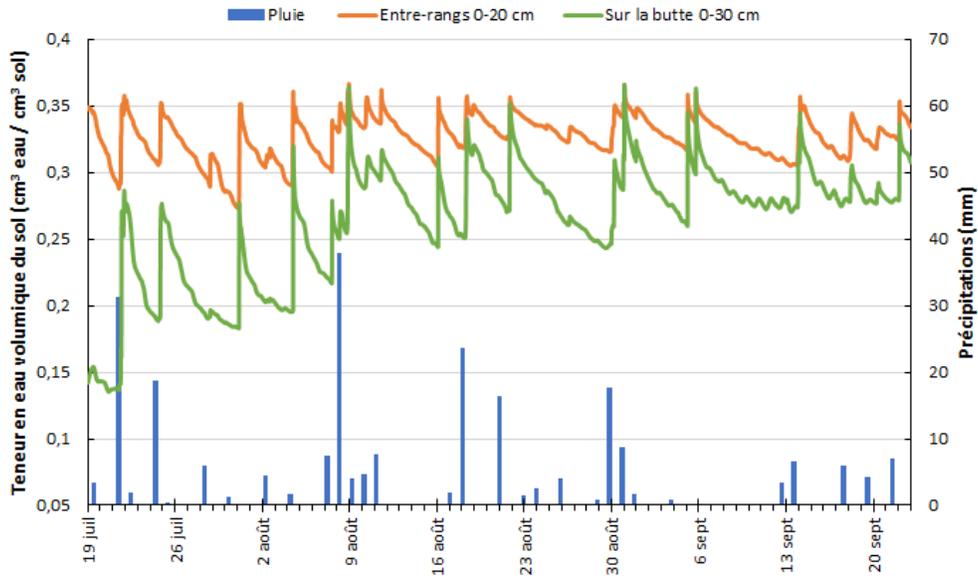


Figure 4. Chronique de la teneur en eau volumique du sol ($\text{cm}^3 \text{ eau} / \text{cm}^3 \text{ sol}$) et pluviométrie quotidienne (mm), site IO, saison 2022.

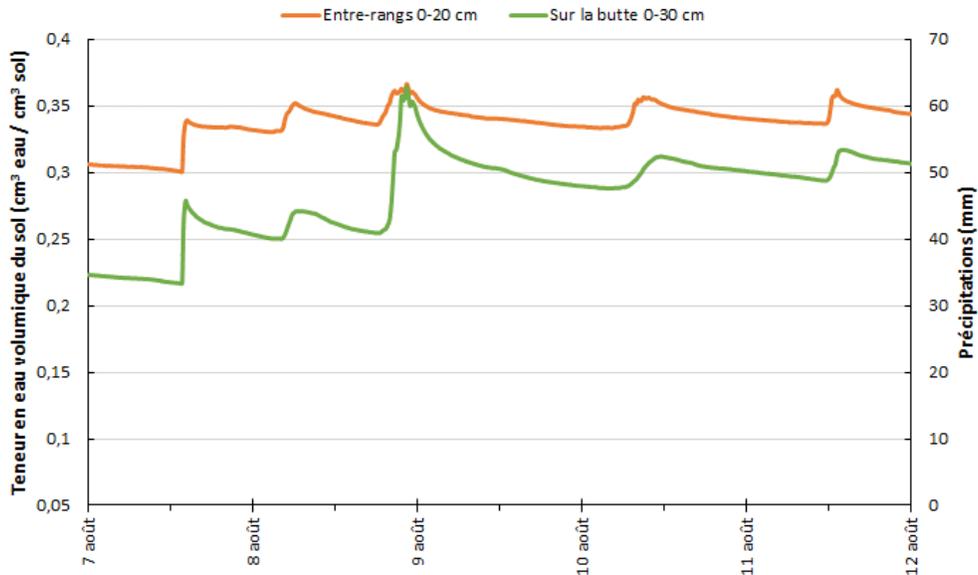


Figure 5. Chronique de la teneur en eau volumique du sol ($\text{cm}^3 \text{ eau} / \text{cm}^3 \text{ sol}$), site IO, 7 au 12 août 2022.

Par la suite, la période entre le 23 et 30 juillet a été utilisée pour identifier le point tournant (PT), soit une période de contrainte de prélèvement en eau (Figure 6). Durant cette période, la culture était bien développée, le statut hydrique du sol était près de la CC et pratiquement aucune précipitation n'a été enregistrée. L'estimation de l'évapotranspiration de la culture par TDR et le suivi de l'évapotranspiration potentielle durant cette période sont présentés à la Figure 7. L'analyse des tendances entre l' ET_p et l' ET_{c-TDR} a permis d'identifier le 27 et 28 juillet comme étant des journées où une contrainte de prélèvement en eau peut être identifiée. La teneur en eau mesurée durant cette période (28 juillet) a été de $0,19 \text{ cm}^3 \text{ eau} / \text{cm}^3 \text{ sol}$. Avec l'identification de ces points, une RFU a pu être estimée à $1,0 \text{ mm/cm}$. Cette RFU a été utilisée comme cible dans l'essai réalisé avec EstimEau.

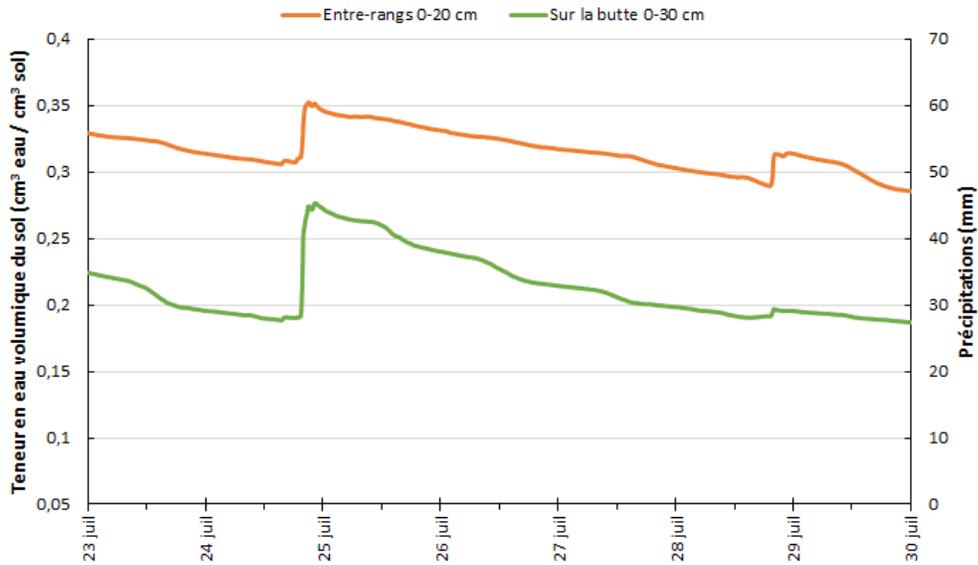


Figure 6. Chronique de la teneur en eau volumique du sol ($\text{cm}^3 \text{ eau} / \text{cm}^3 \text{ sol}$), site IO, 23 au 30 juillet 2022.

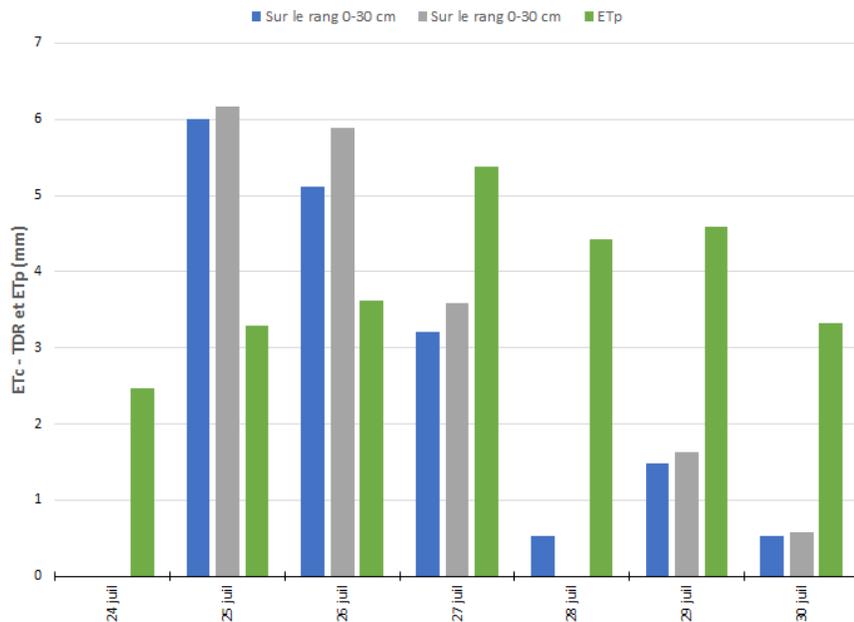


Figure 7. Évapotranspiration de la culture estimée par TDR (ET_{c-TDR}) (mm), évapotranspiration potentielle (ET_p), site IO, 24 au 30 juillet 2022.

4.2 Précipitations

La pluviométrie cumulative mensuelle par site et les normales climatiques sont présentées au Tableau 1. Le cumulatif entre mai et octobre a été assez différent d'une année à l'autre. Selon le cumulatif saison, la saison 2022 a été la saison la plus sèche en comparaison avec la saison 2023.

En 2022, les précipitations enregistrées aux sites IO et SPJ ont été très près des normales climatiques. Pour le site IO, les précipitations entre mai et octobre ont totalisé 660 mm soit, 18 mm de moins que la normale climatique. Mensuellement, il y a eu des fluctuations plus ou moins importantes par rapport aux normales climatiques. Le mois d'août, avec 146 mm a été le plus humide, tandis que septembre (56 mm) a été le plus sec par rapport aux normales climatiques. Pour le site SPJ, les précipitations entre mai et octobre ont totalisé 576 mm soit, 20 mm de plus que la normale climatique. De manière mensuelle, il y a eu plus de fluctuations avec des valeurs en dessous et au-dessus de la normale. Juillet a particulièrement été sec tandis que septembre a été plus humide.

Finalement, le cumulatif entre mai et octobre en 2023 a été plus élevé que les normales climatiques sur les deux sites. Un déficit de précipitations a été enregistré au printemps, principalement au mois de mai. Par la suite, un excès a ensuite été enregistré en juillet et août au site IO et en juin, juillet, août et octobre au site SPJ. Le cumulatif au site SPJ a particulièrement été élevé avec un total qui s'est élevé à 800 mm, soit 244 mm de plus que la normale climatique.

Tableau 1. Pluviométrie cumulative mensuelle (mai à octobre) et totale (mm) et normales climatiques de la pluviométrie mensuelle (mm) pour la station la plus près, selon le site et l'année.

Année	Site	Précipitations cumulées (mm)													
		Valeurs mesurées au site							Normales climatiques 1981-2010						
		Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Total	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Total
2022	IO	114	148	124	146	56	72	660	103	121	125	115	110	104	678
	SPJ	94	120	47	120	149	46	576	84	107	90	90	95	90	556
2023	IO	37	88	183	215	86	103	712	103	121	125	115	110	104	678
	SPJ	79	138	180	131	27	245	800	84	107	90	90	95	90	556

4.3 Comparer les performances agronomique, économique et environnementale du pivot central et du IGGM en contexte de production de pommes de terre et d'une culture de rotation (maïs et soya)

4.3.1 Difficultés rencontrées

En juillet 2021, la conversion des deux pivots n'était pas encore aboutie et la saison était trop avancée pour envisager de débiter les essais. Les défis techniques et le contexte de pandémie ont compliqué l'exercice. À ce moment, il a été décidé, de concert avec le MAPAQ et le CRPTQ, de prolonger le projet d'une année.

En 2022, la première irrigation a été déclenchée le 7 juillet au site SPJ. L'exercice de s'est pas bien déroulée. Même avec l'installation d'un dispositif d'autonettoyage, le filtre gênait rapidement l'approvisionnement en eau (colmatage) du pivot. Le faible niveau de la rivière à ce moment a été un facteur qui a augmenté le risque d'aspirer des particules de sable. Pour cette irrigation, le filtre a été enlevé et les gicleurs ont été remis en fonction. Des ajustements ont été apportés au filtre pour les irrigations suivantes, mais sans succès. Il était inenvisageable de ne pas intervenir avec l'irrigation en contexte de production commerciale.

Pour le site IO, la première irrigation de 2022 a été effectuée le 31 juillet et les problèmes de filtrations ont aussi empêché l'application des traitements comme convenu dans le protocole. À ces problèmes s'ajoutent des bris conséquents à la pression d'opération du pivot. Comme les deux modes d'application cohabitent sur le même pivot et que les gicleurs nécessitent une pression d'opération plus élevée, le système par goutte-à-goutte a subi des bris au niveau des connecteurs à compression en « T » (Figure 22). Cette fuite a ensuite engendré un mouvement d'oscillation au niveau des pendillards du pivot et la rupture complète de ceux-ci (Figure 23).

Malgré les ajustements techniques réalisés à temps pour le début de la saison 2023, aucune irrigation n'a été déclenchée. Les conditions de sols humides, conséquentes aux précipitations abondantes n'ont pas été propices à l'atteinte des consignes d'irrigation. La comparaison entre les systèmes n'a pu être effectuée en contexte de production.

4.3.2 Essai « Mouvement de l'eau dans le sol automne 2022 »

En ce qui a trait à l'essai « parallèle aux billons » (Figure 6), la zone de sol suivie par la sonde TDR-X, soit l'entre-billon, est celle qui a eu l'augmentation de teneur en eau la plus élevée après 48 h, soit 24 mm d'eau pour une profondeur de sol de 30 cm. Ensuite, le duo TDR-G-E a eu une augmentation de 75 % comparativement à celle de l'entre-billon, et le duo miroir TDR-Q-C, seulement 25 %. Le centre de la butte qui est enclavée entre les deux tubes de goutte-à-goutte, soit les TDR-T-V-2-Y, a eu une augmentation d'environ 50 % de celle de l'entre-billon. La TDR-W et la TDR-S sont aussi installées dans le centre de la butte, mais avec seulement un côté qui est alimenté par l'irrigation. La TDR-W a mesuré une augmentation de 25 %, toujours comparativement à l'entre-billon et la TDR-S, une augmentation inférieure à 25 %. Dans un contexte où la conversion d'un pivot serait faite entièrement, la presque totalité des buttes serait bordée par un tube de goutte-à-goutte de chaque côté. Plusieurs facteurs dont la pente, la compaction et la microtopographie peuvent expliquer la variabilité observée dans un environnement aussi accidenté que celui de la pomme de terre, mais il est raisonnable de conclure que l'ensemble du système cultural est rejoint par l'apport en eau, lorsque les tubes de goutte-à-goutte sont parallèles aux billons.

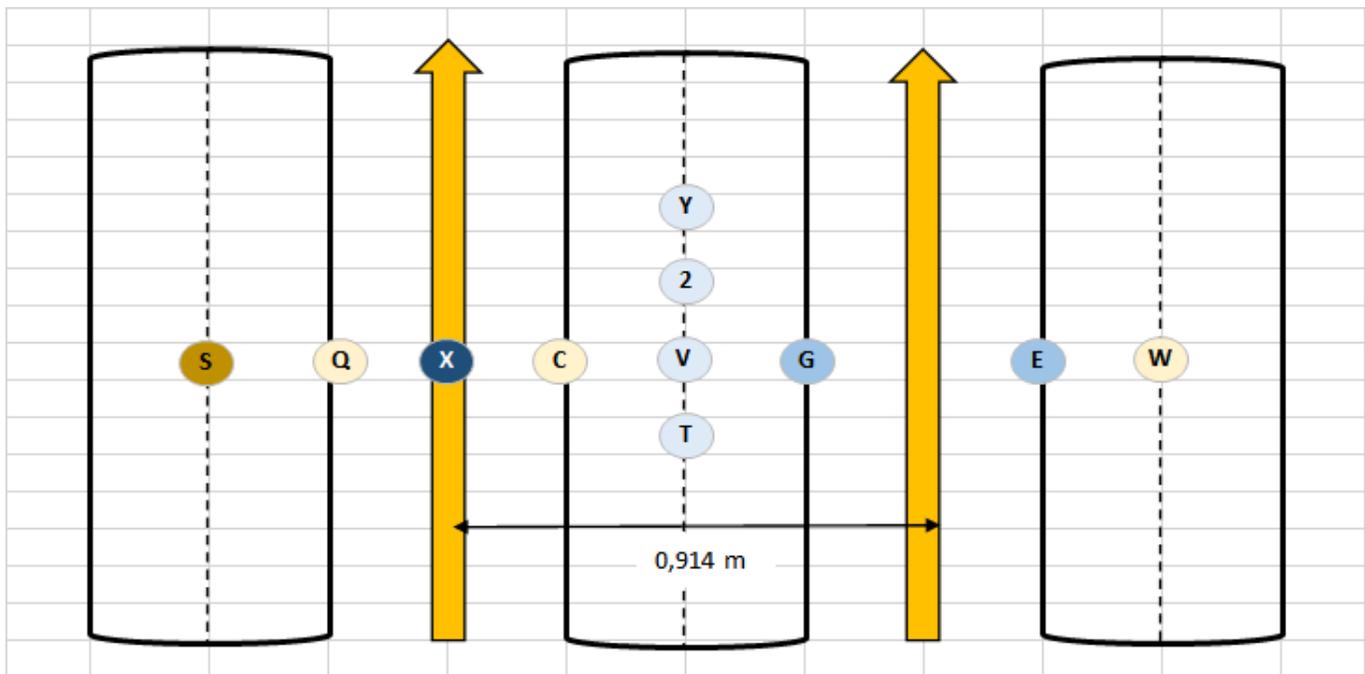


Figure 8. Disposition des 11 sondes TDR dans le système cultural en configuration « parallèle aux billons ».

Pour l'essai « perpendiculaire » (Figure 7), la zone de sol suivie par les sondes TDR-N et TDR L, soit le centre de la butte, est celle qui a eu l'augmentation de teneur en eau la plus élevée après 48 h, soit en moyenne 29 mm. Il est à noter que ces deux sondes étaient situées directement où le passage des tubes de goutte-à-goutte. Pour le reste des zones suivies, l'augmentation de la teneur en eau du sol a été inférieure à 25 % de celle observée pour les TDR-N et TDR-L. Toutefois, les zones couvertes par les TDR-J-K-B ont davantage été à la portée de l'irrigation que les TDR-M et TDR-W, qui sont au centre de la butte. La forme des billons et l'espace entre ceux-ci sont favorables à faire converger l'eau dans l'entre-billon.

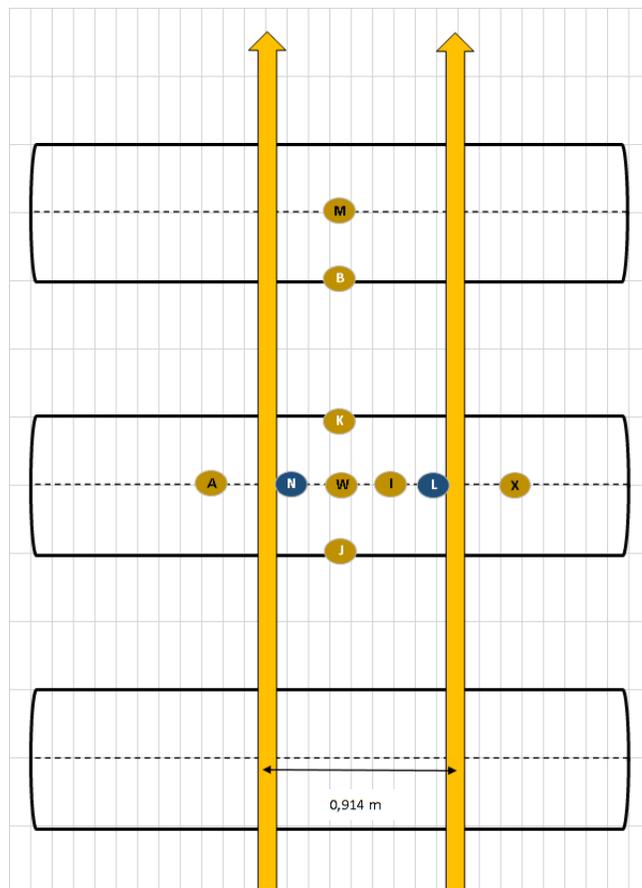


Figure 9. Disposition des 10 sondes TDR dans le système cultural en configuration « perpendiculaire aux billons ».

Il faut être prudent dans l'interprétation de ces deux essais, mais il semble que la configuration « parallèle » soit plus efficace en ce qui a trait à la proportion du système cultural qui est approvisionné en eau. Il faut aussi garder en tête que ces deux configurations sont en quelque sorte les deux extrêmes et que plusieurs variantes existent entre le moment où le pivot débute et termine sa révolution. Même une application uniforme de l'eau par aspersion sera affectée par un système cultural aussi accidenté que celui de la pomme de terre. Cette réalité a d'ailleurs été documentée avec la pluie, dans des projets réalisés précédemment par l'équipe de régie l'eau de l'IRDA.

4.3.3 Essai « Scénarios d'irrigation selon le site, la culture et les conditions météo »

Dans cette section, la performance agronomique est comparée en termes de volume d'eau et de nombre d'épisodes d'irrigations. L'estimation du volume d'eau nécessaire pour une saison, générée par l'outil EstimEau, est présentée sur une base annuelle et selon le type de système d'irrigation, en contexte de pommes de terre (Figure 10) et de maïs-grain (Figure 11) pour le site IO. De plus, le nombre d'épisodes est présenté en étiquette. Avec le pivot « conventionnel », le besoin en eau est plus élevé qu'avec un système d'irrigation goutte-à-goutte mobile (IGGM). Toutefois, le nombre d'épisodes est généralement plus élevé avec ce dernier. Si les volumes d'eau en jeu sont moins élevés en contexte de maïs-grain, les tendances observées sont les mêmes que pour la pomme de terre. Les 5 années, où les besoins en eau estimés ont été les plus bas sont : 1998, 2004, 2008, 2011 et 2015, alors que celles où les besoins ont été les plus élevés sont : 2002, 2010, 2012, 2017 et 2019.

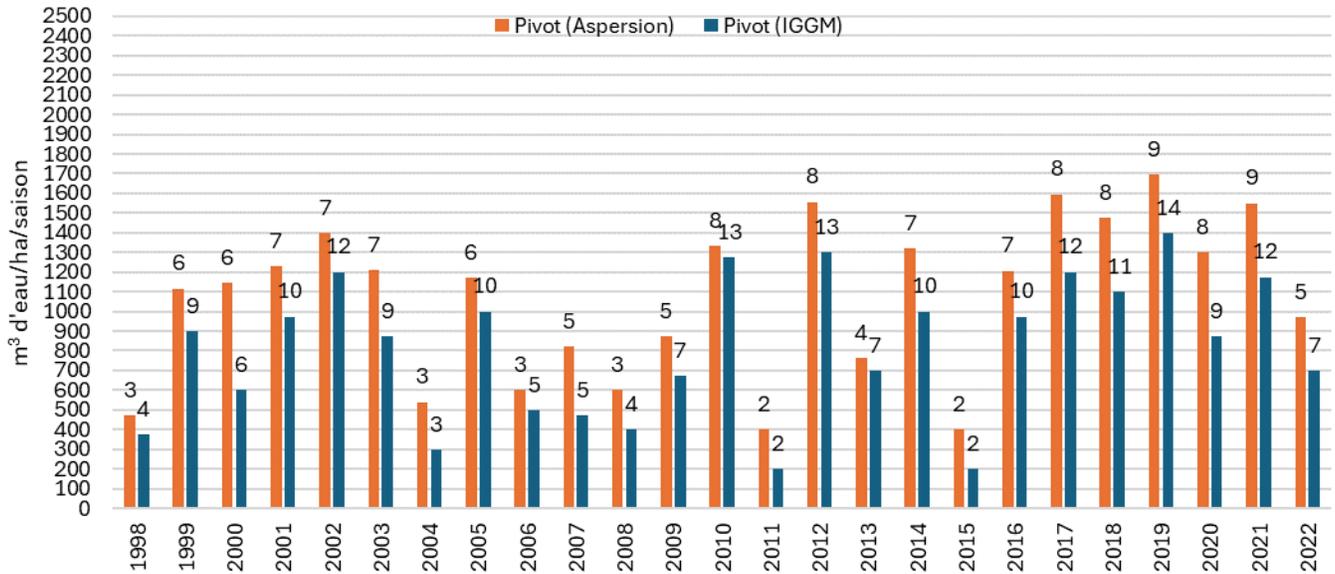


Figure 10. Besoins en eau estimés sur une base annuelle en termes de volume (m³) et de nombre d'irrigations selon le type de système, en contexte de pommes de terre au site IO.

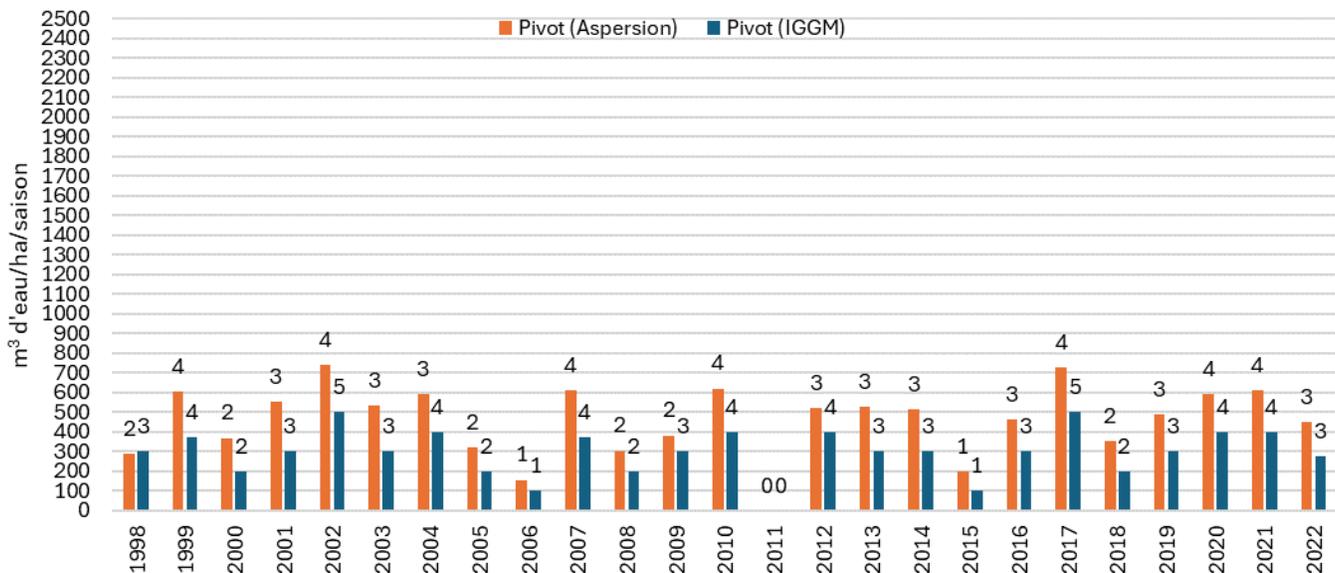


Figure 11. Besoins en eau estimés sur une base annuelle en termes de volume (m³) et de nombre d'irrigations selon le type de système, en contexte de maïs-grain au site IO.

L'estimation du volume d'eau nécessaire pour une saison, généré par l'outil EstimEau, est présentée sur une base annuelle et selon le type de système d'irrigation, en contexte de pommes de terre (Figure 12) et de soya (Figure 13) pour le site SPJ. De plus, le nombre d'épisodes est présenté en étiquette. Avec le pivot « conventionnel », le besoin en eau est plus élevé qu'avec un système d'irrigation goutte-à-goutte mobile (IGGM). Toutefois, le nombre d'épisodes est généralement plus élevé. Si les volumes d'eau en jeu sont moins élevés en contexte de soya, les tendances observées sont les mêmes que pour la pomme de terre. Les 5 années, où les besoins en eau estimés ont été les plus bas sont : 2004, 2006, 2008, 2013 et 2015, alors que celles où les besoins ont été les plus élevés sont : 2016, 2018, 2020, 2021 et 2022.

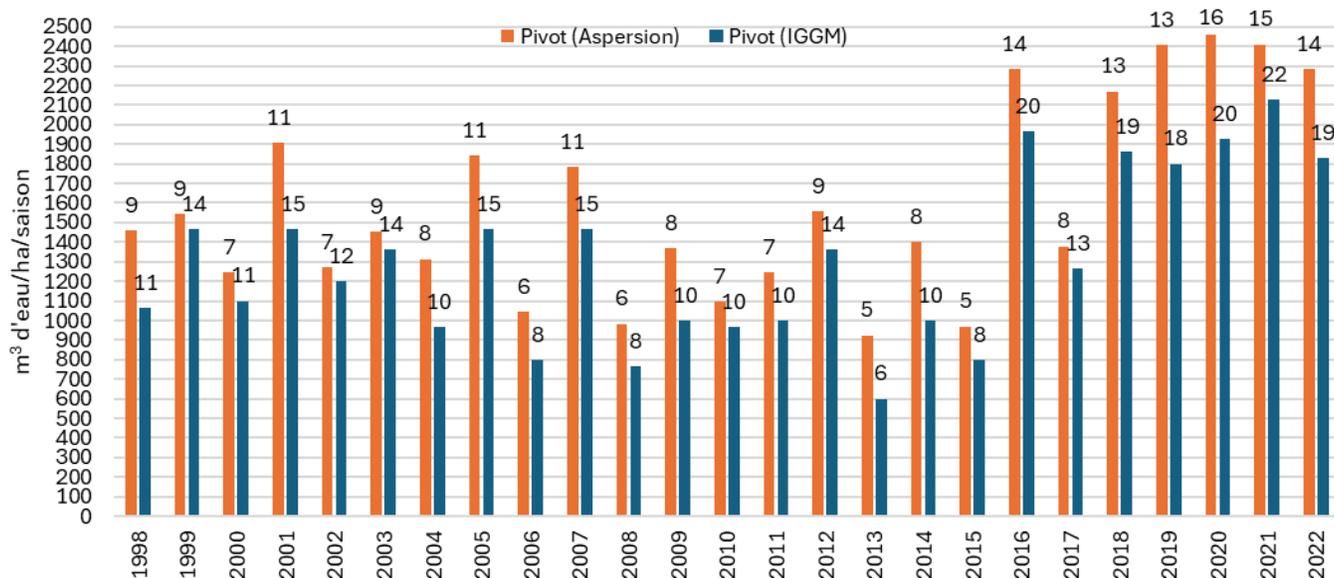


Figure 12. Besoins en eau estimés sur une base annuelle en termes de volume (m³) et de nombre d'irrigations selon le type de système, en contexte de pommes de terre au site SPJ.

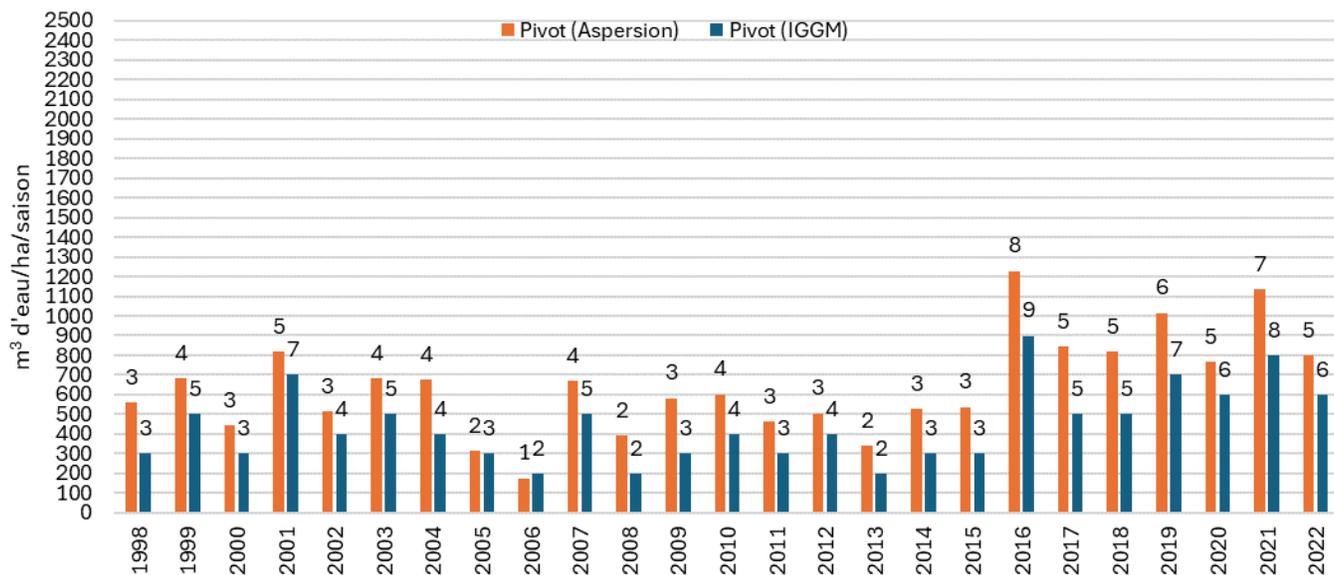


Figure 13. Besoins en eau estimés sur une base annuelle en termes de volume (m³) et de nombre d'irrigations selon le type de système, en contexte de soya au site SPJ.

Maintenant, les valeurs présentées aux figures précédentes (Figure 10 à Figure 13) ont été regroupées selon qu'elles font partie du palmarès des années où le besoin a été le plus bas (besoin -), le plus élevé (besoin +) et pour l'ensemble des 25 années et sont présentées sous forme de moyenne au Tableau 2. Globalement, les besoins en eau sont plus importants au site SPJ. Pour le contexte de production du site IO, le besoin en eau de la pomme de terre, pour les 25 dernières années, implique 1070 m³/ha si les apports en eau sont apportés avec un pivot « conventionnel » et 815 m³/h, si un système d'irrigation par goutte-à-goutte mobile (IGGM) est utilisé. Pour la même période (1998-2022), 1592 m³/ha sont nécessaires au site SPJ avec un pivot « conventionnel » et 1305 m³/ha, avec un pivot « IGGM ».

Tableau 2. Valeur moyenne des besoins en eau estimés (m³/ha) et en nombre d'épisodes d'irrigation par saison (n^{bre}/saison) selon le site, la culture et le type de système d'irrigation.

Site	Culture	Type système irrigation	Valeur moyenne 5 années avec besoin -		Valeur moyenne 5 années avec besoin +		Valeur moyenne 25 années (1998-2022)	
			m ³ /ha	N ^{bre} /saison	m ³ /ha	N ^{bre} /saison	m ³ /ha	N ^{bre} /saison
IO	Pomme de terre	Aspersion	483	2,6	1517	8,0	1070	5,8
		IGGM	295	3,0	1275	12,8	815	8,2
	Maïs	Aspersion	277	1,6	620	3,6	461	2,8
		IGGM	200	2,0	420	4,2	297	3,0
SPJ	Pomme de terre	Aspersion	1046	6,0	2321	14,4	1592	9,4
		IGGM	786	8,0	1943	20,0	1305	13,3
	Soya	Aspersion	425	2,4	950	6,0	645	3,9
		IGGM	260	2,6	680	6,8	444	4,4

Les besoins en eau générés par EstimEau impliquent une économie d'eau dans un contexte où le pivot « IGGM » est comparé à un contexte avec pivot « conventionnel ». Ces économies sont présentées sous forme de pourcentages au Tableau 3, selon des regroupements précis de conditions météorologiques historiques.

Tableau 3. Valeur moyenne d'économie d'eau (%), réalisée avec un pivot « IGGM » comparativement à un pivot « conventionnel ».

Site	Culture	Valeur moyenne 5 années avec besoin -		Valeur moyenne 5 années avec besoin +		Valeur moyenne 25 années (1998-2022)	
		%					
IO	Pomme de terre	39	16	24			
	Maïs	28	32	36			
SPJ	Pomme de terre	25	16	18			
	Soya	39	28	31			

4.3.4 Bris mécanique de la culture

Par ailleurs, quoique le système par goutte-à-goutte n'ait pas été utilisé lors de chacune des irrigations, il a toutefois toujours été présent. Autrement dit, à chacune des irrigations, les tubes de goutte-à-goutte ont été en contact avec la culture. Aucun bris mécanique à la culture n'a été observé.

4.3.5 Problématiques potentielles

La surveillance d'un système IGGM lors des irrigations est à considérer. Puisque les pendillards et les goutte-à-goutte sont tractés et glissent sur le sol, une surveillance accrue doit être effectuée pour éviter des problèmes d'enchevêtrement et des bris. De plus, cette problématique est exacerbée dans un contexte de rotation partielle du pivot. En effet, lorsque la configuration du champ ou des obstacles empêchent la rotation complète à 360 degrés du pivot, les goutte-à-goutte n'humectent pas la superficie sous l'axe du pivot. Lorsque le pivot est reparti dans la direction opposée, il faut manuellement replacer les goutte-à-goutte après l'axe de rotation. Dans le cas contraire, la superficie irriguée du pivot avec un système IGGM est diminuée et une sur-irrigation est effectuée dans la zone de transition de changement de direction. Autrement dit, lorsque le pivot change de sens de rotation, le système IGGM devient statique jusqu'à ce que le pivot puisse à nouveau tracter les tubes. En l'absence de repositionnement manuel, c'est également lors de cette manœuvre que les risques d'enchevêtrement et de bris mécaniques sont augmentés.

Le temps nécessaire à l'entretien et au bon fonctionnement d'un système IGGM est aussi plus important lors des périodes intersaisons. Lors du démarrage au printemps, les lignes doivent être purgées pour minimiser le risque de colmatage des goutteurs. À l'automne, lors du remisage du système, le système doit aussi être purgé pour minimiser les risques de bris mécaniques par le gel. De plus, des bris mécaniques ont également été observés par la contraction du sol par le gel (Figure 24). Les lignes ont ainsi été immobilisées sur le sol gelé et lors d'un déplacement du pivot (déplacement pour nuisance ou hivernage) certaines pièces ont été brisées sous la force de traction. Dans ce contexte, certaines opérations doivent être mieux planifiées. Autrement, les lignes devront être hivernées de manière à éviter cette problématique (endroit avec couvert végétal, entreposage et fixation des lignes de manière aérienne, etc.).

4.3.6 Coûts

Les coûts de la conversion du pivot en système IGGM sont présentés au Tableau 4. Les coûts estimés représentent un investissement de 41 589 \$. Ces coûts couvrent la majorité des frais engendrés par la conversion du système. Des frais supplémentaires pour l'installation de système pourraient s'appliquer. Comme mentionné précédemment, ces frais couvrent l'installation d'une unité de préfiltration à 3 929 \$ qui pourrait ne pas être essentielle dans un contexte où la qualité de l'eau serait suffisante. Toutefois, dans les contextes des essais, la préfiltration s'est avérée nécessaire pour assurer la performance du système. De plus, il représente environ 10 % du coût final, ce qui n'est certainement pas excessif pour assurer la performance dans de nombreux contextes d'approvisionnement en eau. En considérant une couverture théorique à 360 ° couvrant 29 ha, le coût de revient à l'hectare s'élève à 1 432,60 \$.

Tableau 4. Détaillé des coûts (\$) d'une conversion d'un pivot en système IGGM.

Élément technique	Description	Marque	Coûts ¹ (\$)
Préfiltration	Système cyclonique de préfiltration	Flow-Guard	3 929
Filtration	Filtreur avec tamis à 200 microns et système manuel de nettoyage	Amiad	3 393
Système de conversion IGGM ²	Câble et treuils		
	Ligne secondaire d'alimentation flexible		
	Pendillards et tubes de g-à-g		
	Quincaillerie d'installation	Dragon-Line	34 267
	Frais de fabrication du système		
	Frais de transport		
	Temps installation minimal *		
Total			41 589

¹ Coût estimé en fonction du taux de change du dollar américain en dollar canadien lors de la transaction ou de la soumission (2021 à 2023).

² Système complet pour un pivot de 5 travées (4 de 62 m et 1 de 56 m)

* Le temps d'installation équivaut à 10 h à 3 personnes, ce temps est optimiste.

Le volet économique a été réalisé par le CECPA. Les résultats sont présentés dans le rapport qui est joint à l'Annexe 2 – Analyse économique CECPA.

En résumé, en termes de frais de fonctionnement du pivot, le IGGM permet une légère économie puisque la durée des irrigations est réduite, surtout avec une pompe électrique, comparativement à une qui fonctionne au diesel. Tant avec le maïs-grain que pour le soya, une augmentation de moins de 8 % des rendements couvre les frais de fonctionnement. Avec la pompe électrique, l'augmentation nécessaire n'est que de 2 %.

4.4 Évaluer la faisabilité du IGGM en contexte de contrainte ou non d'approvisionnement en eau

Selon la compagnie Dragon-Line (Dragon-Line, non daté), les bénéfices d'un système IGGM sont nombreux et incluent notamment :

- Diminution entre 25 et 50 % de l'eau, l'énergie et la main-d'œuvre;
- Élimination de la dérive et diminution de l'évaporation;
- Diminution du ruissellement, de la compaction du sol et de la formation de la croûte de battance;
- Élimination de la problématique du passage des roues sur le sol humide;
- Fertigation précise via le système de g-à-g;
- Diminution de la pression des ravageurs et des maladies (feuillage sec);
- Diminution du stress thermique des plants dû aux changements de température;
- Système flexible s'adaptant à toutes les cultures;
- S'adapte à un approvisionnement en eau à faible débit.

Dans le contexte du Kansas, une étude a corroboré certaines des prétentions du fabricant concernant la diminution de l'évaporation engendrée par un système IGGM en comparaison avec un système par aspersion à basse pression. Selon Kisekka et coll. (2017), l'IGGM a permis de diminuer de 35 % en moyenne l'évaporation de l'eau. Aussi, dans la culture de la pomme de terre, le système IGGM a également permis une économie d'eau de l'ordre de 10 à 20 % (Derbala, 2003 cité dans Kisekka et coll., 2017).

De plus, une autre étude comparative a également démontré une augmentation de l'utilisation de l'eau avec un système IGGM en comparaison avec un système à aspersion basse pression et un système d'irrigation dans l'entre-rang. En effet, selon O'Shaughnessy et Colaizzi (2017), dans une saison humide, les systèmes d'irrigation performant de manière similaire. Toutefois, dans un contexte d'une saison sèche, les rendements en maïs-grain se sont maintenus entre les systèmes d'irrigation tout en utilisant moins d'eau avec un système IGGM.

Ces études ont démontré que le système IGGM peut, dans certains contextes, favoriser l'efficacité d'utilisation de l'eau et permettre de réaliser des économies d'eau. En comparaison avec un système par aspersion conventionnel, le système IGGM serait plus avantageux dans un contexte de contrainte sévère d'approvisionnement en eau. Dans un contexte sans contrainte d'approvisionnement en eau, le coût engendré par la conversion d'un pivot pourrait être un frein à l'adoption d'un tel système. De plus, il existe très peu d'étude sur les autres bénéfices potentiels mentionnés, ce qui apporte une incertitude en ce qui a trait au retour sur l'investissement.

5 Conclusion

Les simulations générées par l'outil EstimEau ont permis de comparer le système IGGM avec un pivot central en termes de nombre d'irrigations et de volume d'eau apporté. Les résultats des simulations avec la pomme de terre ont démontré que le système IGGM permet une économie d'eau moyenne qui varie entre 18 et 24 %, selon l'année et le contexte de production et d'un peu plus de 30 % pour le soya et le maïs-grain. Il faut toutefois composer avec un nombre plus élevé d'irrigations qui sont conséquentes à un apport qui se rapproche davantage du prélèvement quotidien de la culture. D'un point de vue économique, ces simulations amènent à conclure que le IGGM permet une légère économie puisque la durée des irrigations est réduite, surtout avec une pompe électrique, comparativement à une qui fonctionne au diesel. Tant avec le maïs-grain que pour le soya, une augmentation de moins de 8 % des rendements couvre les frais de fonctionnement. Avec la pompe électrique, l'augmentation nécessaire n'est que de 2 %. Il faut toutefois tenir compte que ces simulations ont identifié une réduction de la quantité d'eau brute qui ne fait pas intervenir l'efficacité réelle des systèmes. À l'instar de cet exercice, certaines études confirment que le système IGGM permet une économie d'eau intéressante par rapport à l'utilisation d'un pivot central conventionnel.

Les essais réalisés manuellement avec l'IGGM ont permis de décrire la distribution de l'eau dans le système cultural de la pomme de terre. Il semble que l'approvisionnement en eau soit plus adéquat lorsque la tubulure se retrouve en position parallèle avec les billons, que perpendiculaire avec ceux-ci, ce qui ne serait pas un enjeu avec une rampe automotrice ou un patron de semence en arc de cercle. Cependant, la superficie et la disposition des champs au Québec limitent la faisabilité de cette pratique. Ces éléments renforcent aussi la pertinence de favoriser des pratiques culturales permettant de diminuer la compaction dans l'entre-billon.

La conversion d'un pivot central par aspersion à un système IGGM a démontré certaines contraintes et limites. La filtration de l'eau est inévitablement un enjeu de premier plan qui doit être surmonté afin de bénéficier d'un système performant. Dans une majorité de contextes où la source d'approvisionnement en eau est de surface, des équipements de préfiltration et de filtration seront considérés comme nécessaires au système IGGM. De plus, les problématiques rencontrées durant les essais mettent en évidence certains défis de gestion concernant l'utilisation d'un tel système. Une augmentation du temps de suivi pour chaque irrigation et pour l'entretien d'un système IGGM seront également à considérer. À long terme, il existe encore plusieurs incertitudes, notamment, en ce qui concerne la durabilité du système. Comme il a été démontré dans certains diagnostics de système d'irrigation effectués dans les systèmes de goutte-à-goutte permanents (Nadon et coll., 2016), un tel système est vulnérable au colmatage et à une perte d'uniformité.

Pour l'instant, il est difficile de se prononcer sur la faisabilité d'un tel système dans un contexte de production au Québec. Il pourrait certainement procurer des bénéfices en ce qui a trait à une diminution du besoin en eau d'irrigation. Ces bénéfices sont toutefois plombés par l'investissement important nécessaire à la conversion du pivot existant. Dans un contexte d'approvisionnement en eau contraignant, un système IGGM pourrait être envisageable. Autrement, le coût-bénéfice n'est probablement plus à son avantage.

6 Références

American Society of Civil Engineering (ASCE), 2005. The ASCE Standardized Reference Evapotranspiration Equation. Report of ASCE Standardization of Reference Evapotranspiration Task Committee, American Society of Civil Engineering, 59 p.

Boivin et coll., 2018. Gestion raisonnée de l'irrigation – Guide technique. Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec. 312 p.

Derbala A. 2003. Development and evaluation of mobile drip irrigation with center pivot irrigation machines. Ph. D., Thesis publ., Giessen University, Giessen

Dragon-Line, non daté. The Benefits of Dragon-Line, [En ligne], <https://www.dragonline.net/benefits-1>, page consultée le 6 mars 2024.

Kisekka, I., T. Oker, G. Nguyen. 2017. Revisiting precision mobile drip irrigation under limited water. *Irrig. Sci.*35, p. 483-500.

Nadon, S., D. Bergeron, C. Boivin et J. Vallée. 2016. Création et validation d'un feuillet technique sur la performance de systèmes d'irrigation par aspersion et par goutte à goutte en champ. Rapport final. IRDA. 61 p.

O'Shaughnessy, S.A. et P.D. Colaizzi, 2017. Performance of Precision Mobile Drip Irrigation in the Texas High Plains Region. *Agronomy* 2017, 7(4), p. 68

7 Annexe 1 - Photos



Figure 14. Vue d'ensemble du système IGGM Dragon-Line.



Figure 15. Vue de près du goutte-à-goutte fixé sur les pendillards flexibles.



Figure 16. Montage du système de câble d'acier sur la structure du pivot existante avec treuil.



Figure 17. Installation de la ligne secondaire d'eau sur le câble d'acier (T à insertion) à l'aide de broches à enrouler.



Figure 18. Montage final de la ligne secondaire d'eau sur le câble d'acier (connecteur T à insertion).



Figure 19. Montage de système hybride sur les pendillards du pivot (tuyau noir), T à compression sur la ligne d'eau secondaire.

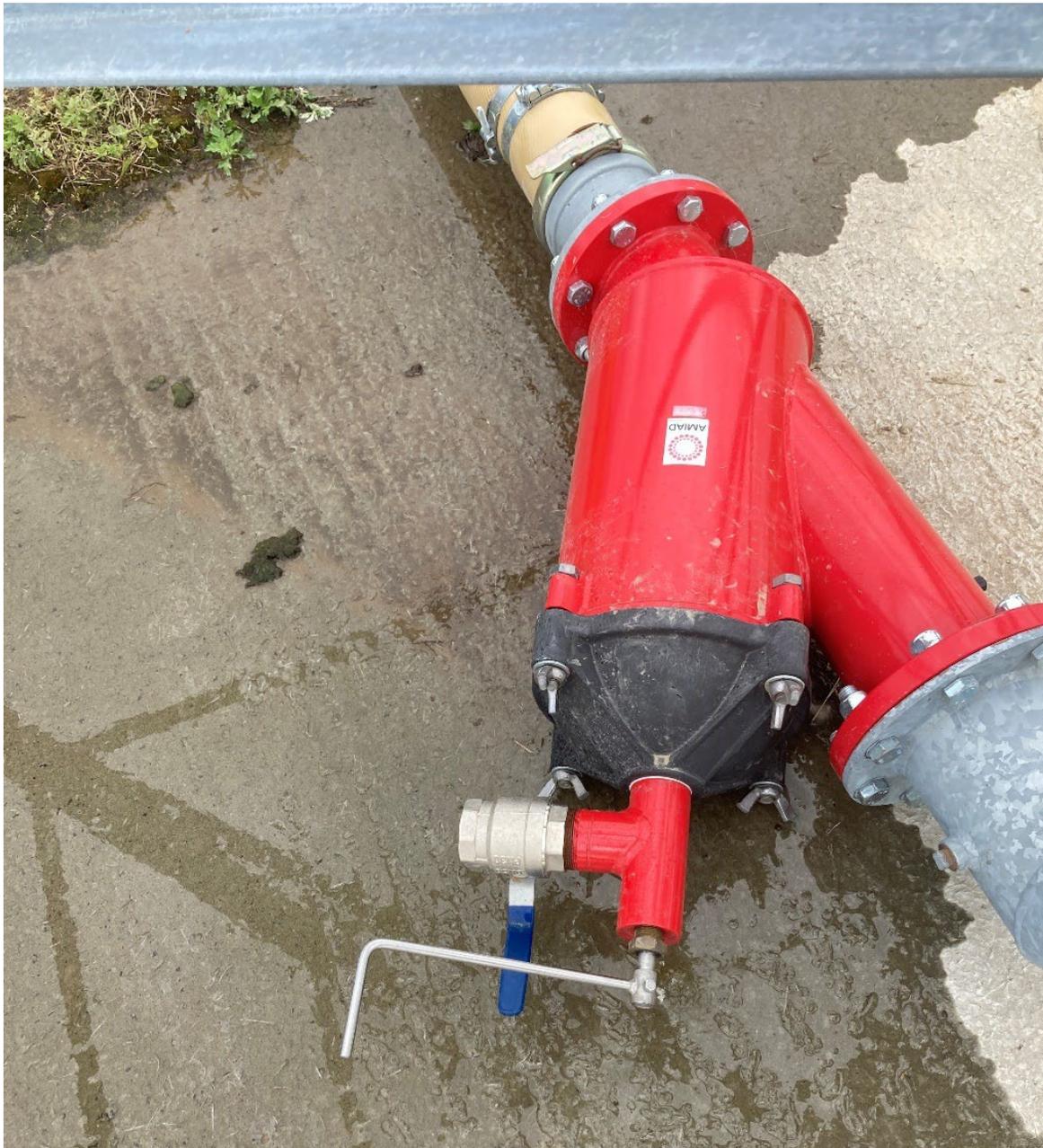


Figure 20. Filtreur Amiad installé sur la ligne d'arrivée d'eau du pivot.



Figure 21. Système cyclonique de prétraitement de l'eau (séparateur de sable).



Figure 22. Bris mécanique d'un T à compression



Figure 23. Bris mécanique d'un pendillard du pivot.



Figure 24. Bris mécanique du T à insertion dû au maintien des tubes g-à-g au sol par le gel.



Mise à l'essai d'un système d'irrigation
goutte-à-goutte mobile en contexte
d'entreprises spécialisées dans la production
de pommes de terre

Analyse économique des frais de fonctionnement

Projet no.400248

mars 2024

Table des matières

MISE EN CONTEXTE.....	3
Mandat.....	3
Réserves et limites.....	3
Assurance qualité.....	3
APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE.....	3
CAS ÉTUDIÉS.....	4
FRAIS DE FONCTIONNEMENT.....	4
GAINS DE RENDEMENT MINIMUM.....	6
DISCUSSION.....	8
RÉFÉRENCES.....	10
ANNEXE 1 : DÉTAIL DES INFORMATIONS D'IRRIGATION.....	11

Liste des tableaux

Tableau 1. Principales variables des coûts d'irrigation.....	4
Tableau 2. Détail des frais de fonctionnement pour le site A et B.....	5
Tableau 3. Détail des informations sur le rendement minimum pour les sites A et B.....	7

Liste des figures

Figure 1. Distribution des frais de fonctionnement totaux maximum, minimum et moyen.....	6
Figure 2. Distribution des pourcentages de gain de rendement minimaux pour un coût nul selon les prix retenus.....	8

MISE EN CONTEXTE

Mandat

L'Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA) réalise le « Mise à l'essai d'un système d'irrigation goutte à goutte mobile en contexte d'entreprises spécialisées dans la production de pommes de terre ». L'Institut a sollicité l'appui du Centre d'étude sur les coûts de production en agriculture (CECPA) pour la réalisation de l'analyse économique de scénarios basés sur les données collectées. Notre mandat consiste à faire une évaluation économique de divers scénarios conçus avec les données collectées par l'IRDA. Notre démarche consiste à :

- Organiser l'information agronomique pour en faire une analyse économique;
- Déterminer uniquement les frais de fonctionnement liés aux cas présentés ;
- Appuyer l'analyse des résultats et des constats.

Réserves et limites

Ce rapport présente des analyses basées sur plusieurs scénarios à propos de situations complexes et multifactorielles. Le CECPA utilise, parmi les données disponibles, celles ayant la meilleure représentativité possible afin de présenter des scénarios réalistes et crédibles. Toutefois, les réalités de plusieurs entreprises peuvent différer des scénarios proposés.

Ce rapport est préparé à la demande de l'IRDA dans le cadre du projet mentionné ci-haut. Toute diffusion nécessite une permission écrite de l'IRDA ou du CECPA. Nous n'assumons aucune responsabilité pour des pertes qui pourraient être occasionnées aux parties en cause, à leurs partenaires, à leurs administrateurs, à leurs employés ou à toute autre partie, à la suite de la circulation de la référence ou de l'utilisation de ce rapport. Pour finir, le CECPA se réserve le droit de réviser ses constats et ses conclusions si des informations pertinentes, antérieurement non disponibles ou non fournies, lui étaient communiquées subséquemment.

Assurance qualité

Un protocole de vérification interne a été établi afin de valider les processus d'analyse. Celui-ci n'a pas encore été complété.

APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE

L'objectif de l'analyse est d'explorer le réalisme économique de l'utilisation des systèmes d'irrigation de type pivot dans les cultures de rotation d'entreprise dont la production principale est la pomme de terre. Deux hypothèses de départ sont retenues :

- *Les entreprises possèdent déjà un système d'irrigation pivot et c'est la culture des pommes de terre qui assume l'ensemble des frais de possession.*

Ainsi, l'analyse inclut uniquement les frais de fonctionnement. Il est à noter que les frais de possession qui incluent normalement la dépréciation (amortissement), les intérêts sur les emprunts nécessaires à l'achat et les assurances doivent tout de même être assumés l'année de rotation.

- *L'approvisionnement en eau est illimité et gratuit.*

Aucune restriction ou concurrence pour l'approvisionnement en eau n'est considérée. La culture de pomme de terre assume l'ensemble des frais d'approvisionnement en eau.

L'IRDA a fourni les données sur les deux cas à l'étude. Il s'agit de deux cultures de rotation, c'est-à-dire qu'elles sont effectuées à la suite de la culture de pomme de terre. Les systèmes d'irrigation sont déjà en place et ne sont pas utilisés. L'analyse est effectuée en trois étapes. Premièrement, les frais de fonctionnement sont détaillés pour l'ensemble des scénarios. Deuxièmement, ces frais sont comparés avec les rendements de références et les principaux prix de référence afin d'évaluer les augmentations de rendement minimums pour couvrir les frais engagés. Troisièmement, une discussion présente les principaux constats.

CAS ÉTUDIÉS

Les données de l'IRDA permettent d'établir des scénarios de coûts d'irrigation basés sur cinq variables : l'emplacement géographique du site de culture, la culture de rotation, le système de système d'irrigation pivot, le type d'énergie de la pompe et finalement le besoin en irrigation. Ces variables sont présentées au Tableau 1.

Tableau 1. Principales variables des coûts d'irrigation

Variables	Cas A	Cas B
Site	(A) Capitale-Nationale	(B) Lanaudière
Culture	Maïs-grain	Soya
Système d'irrigation	Aspersion et goutte-à-goutte	
Énergie	Diesel et électrique	
Scénario des besoins historiques en irrigation	Minimum, maximum et moyenne	

Le site A est situé dans la région de la Capitale-Nationale et la culture du maïs-grain est effectuée comme culture de rotation. Le site B est quant à lui situé dans Lanaudière et c'est la culture de soya qui est effectuée en rotation. Les deux sites utilisent le système de pivot par aspersion et pivot goutte-à-goutte. Les options d'énergie pour la pompe du pivot sont le Diesel via l'utilisation d'un tracteur ou l'électricité via un moteur électrique. Finalement, des besoins en irrigation basés sur un historique de 25 ans permettent d'obtenir trois scénarios de besoin en irrigation. Le scénario de besoins minimums repose sur la moyenne des cinq années ayant le plus faible besoin en eau et le scénario de besoins maximums est basé sur la moyenne des cinq années ayant le plus grand besoin en eau. Finalement, un scénario des besoins moyens d'irrigation s'appuie sur l'historique complet (25 ans). À l'aide d'EstimEau l'IRDA a déterminé les fréquences et les temps d'irrigation des scénarios présentés.

FRAIS DE FONCTIONNEMENT

Les frais de fonctionnement sont calculés sur un ensemble de données sur les systèmes utilisés et les besoins en irrigation. Le détail de ces éléments est présenté à l'annexe 1. Le Tableau 2 présente les principaux frais associés aux systèmes d'irrigation. Comme mentionné précédemment, les frais de possession et d'approvisionnement en eau sont considérés comme étant assumés par la culture principale, soit la culture de pomme de terre. Les valeurs retenues sont donc de zéro. L'entretien du système d'irrigation est le même que s'il était entreposé et c'est donc aussi la culture principale qui assume l'ensemble de ces coûts.

Les frais de fonctionnement restants sont l'énergie pour la pompe (Diesel ou électrique), l'électricité nécessaire pour déplacer le système de pivot et finalement la main-d'œuvre nécessaire. Celle-ci est séparée en deux postes budgétaires. Le premier est lié aux frais de manutention des opérations de démarrage et d'hivernage effectuées à l'automne et au printemps. Le second est lié à la mise en route et à la supervision des épisodes d'irrigation.

Le premier constat est que le coût en énergie est généralement le principal frais de fonctionnement, suivi de la supervision de l'irrigation, du démarrage/ hivernage et finalement de l'électricité pour le déplacement du pivot. La Figure 1 permet de comparer la distribution des frais de fonctionnement totaux.

Le type d'énergie utilisé a une grande influence sur le frais de fonctionnement total. Avec une pompe Diesel, les frais sont de 3 à 5 fois plus élevés qu'avec une pompe électrique. Cela a aussi un impact sur la variabilité des frais pour une configuration donnée (culture, système et énergie). En effet, les écarts entre les scénarios minimums et maximums sont plus élevés pour les configurations avec énergie Diesel que pour les configurations électriques.

Tableau 2. Détail des frais de fonctionnement pour le site A et B

Site	Site A											
	Maïs-grain						Goutte-à-goutte					
	Aspersion			Électrique			Diesel			Électrique		
Scénario	Max.	Min.	Moy.	Max.	Min.	Moy.	Max.	Min.	Moy.	Max.	Min.	Moy.
Information économique (\$/ha)												
Frais de possession	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Entretien	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Approvisionnement en eau	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Carburant pompe	132,7	59,2	98,6	-	-	-	90,0	42,7	63,7	-	-	-
Électricité pompe	-	-	-	22,7	10,1	16,8	-	-	-	15,4	7,3	10,9
Électricité déplacement	0,4	0,2	0,3	0,4	0,2	0,3	0,2	0,1	0,2	0,2	0,1	0,2
M-O démarrage / hivernage	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
M-O supervision irrigation	1,7	0,7	1,3	1,7	0,7	1,3	2,9	1,4	2,1	2,9	1,4	2,1
Frais de fonctionnement total	136,4	61,8	101,8	26,3	12,6	20,0	94,8	45,9	67,6	20,2	10,4	14,8

Site	Site B											
	Soya						Goutte-à-goutte					
	Aspersion			Électrique			Diesel			Électrique		
Scénario	Max.	Min.	Moy.	Max.	Min.	Moy.	Max.	Min.	Moy.	Max.	Min.	Moy.
Information économique (\$/ha)												
Frais de possession	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Entretien	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Approvisionnement en eau	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Carburant pompe	128,2	57,4	87,1	-	-	-	91,8	35,1	59,8	-	-	-
Électricité pompe	-	-	-	20,5	9,2	13,9	-	-	-	14,7	5,6	9,6
Électricité déplacement	0,8	0,4	0,5	0,8	0,4	0,5	0,6	0,2	0,4	0,6	0,2	0,4
M-O démarrage / hivernage	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6
M-O supervision irrigation	7,8	3,1	5,1	7,8	3,1	5,1	13,3	5,1	8,6	13,3	5,1	8,6
Frais de fonctionnement total	141,4	65,4	97,2	33,7	17,2	24,1	110,2	44,9	73,3	33,1	15,5	23,1

Similairement, les écarts entre les types de systèmes d'irrigation sont plus importants lorsque la pompe fonctionne au Diesel. Le système d'irrigation au goutte-à-goutte coûte légèrement moins cher à opérer (entre 70 % et 95 % des frais du système par aspersion). Toutefois, cet écart en valeur monétaire varie entre 16 \$ et 42 \$ lorsque la pompe fonctionne au Diesel et entre 0,5 \$ et 6,5 \$ lorsque la pompe fonctionne à l'électricité.

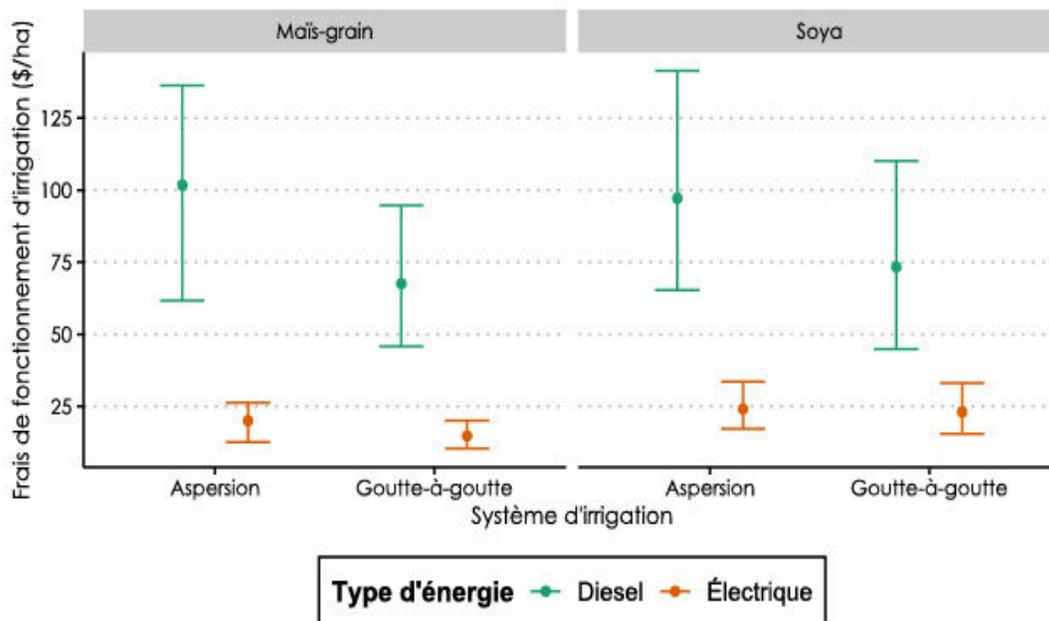


Figure 1. Distribution des frais de fonctionnement totaux maximum, minimum et moyen

Finalement, les frais totaux entre les cultures sont très similaires. L'écart constaté provient principalement des frais de démarrage qui sont plus élevés dans le cas B (soya) puisque la superficie en culture est plus faible et que ce frais est le même peu importe la superficie irriguée.

Ainsi le choix de l'énergie de la pompe est plus important que le type de système de pivot pour ce qui a trait aux frais de fonctionnement.

GAINS DE RENDEMENT MINIMUM

Les frais de fonctionnement présentés précédemment permettent de saisir le détail des postes budgétaires et la distribution des dépenses. Toutefois, peu importe la configuration du système, l'opération d'un système d'irrigation augmente les frais encourus par l'entreprise. Il est donc pertinent d'analyser l'augmentation de rendement minimale nécessaire pour couvrir ces frais de fonctionnement.

Le prix de vente du maïs-grain et du soya peut varier considérablement. Afin de considérer plusieurs options, trois prix unitaires de la Financière agricole du Québec (FADQ) pour le programme d'assurance récolte sont utilisés (FADQ, 2023a). Le prix conventionnel et biologique sont basés sur une moyenne mobile de 3 à 10 ans alors que le prix de marché est basé sur une prévision de prix à la récolte de Agriculture et agroalimentaire Canada. Les prix présentés pour le maïs-grain incluent un frais de séchage du grain de 30 \$/t puisque le rendement supplémentaire devra aussi être séché. Le Tableau 3 présente le détail des informations sur les prix retenus et les gains de rendements minimaux. Les rendements de références retenus (FADQ, 2023b) sont de 8,16 t/ha dans le maïs-grain et de 3,35 t/ha dans le soya.

Tableau 3. Détail des informations sur le rendement minimum pour les sites A et B

Site	Site A											
	Maïs-grain						Goutte-à-goutte					
	Aspersion			Électrique			Diesel			Électrique		
Culture	Max.	Min.	Moy.	Max.	Min.	Moy.	Max.	Min.	Moy.	Max.	Min.	Moy.
Système d'irrigation												
Énergie												
Scénario	Max.	Min.	Moy.	Max.	Min.	Moy.	Max.	Min.	Moy.	Max.	Min.	Moy.
Information sur les prix (\$/t)												
Prix conventionnel	211	211	211	211	211	211	211	211	211	211	211	211
Prix biologique	332	332	332	332	332	332	332	332	332	332	332	332
Prix de marché	295	295	295	295	295	295	295	295	295	295	295	295
Gain de rendement minimal (t/ha)*												
Gain minimal au prix conventionnel	0,6	0,3	0,5	0,1	0,1	0,1	0,4	0,2	0,3	0,1	0,0	0,1
Gain minimal au prix biologique	0,4	0,2	0,3	0,1	0,0	0,1	0,3	0,1	0,2	0,1	0,0	0,0
Gain minimal au prix de marché	0,5	0,2	0,3	0,1	0,0	0,1	0,3	0,2	0,2	0,1	0,0	0,1
Gain de rendement minimal (%)												
Gain minimal au prix conventionnel	7,9	3,6	5,9	1,5	0,7	1,2	5,5	2,7	3,9	1,2	0,6	0,9
Gain minimal au prix biologique	5,0	2,3	3,8	1,0	0,5	0,7	3,5	1,7	2,5	0,7	0,4	0,5
Gain minimal au prix de marché	5,7	2,6	4,2	1,1	0,5	0,8	3,9	1,9	2,8	0,8	0,4	0,6

Site	Site B											
	Soya						Goutte-à-goutte					
	Aspersion			Électrique			Diesel			Électrique		
Culture	Max.	Min.	Moy.	Max.	Min.	Moy.	Max.	Min.	Moy.	Max.	Min.	Moy.
Système d'irrigation												
Énergie												
Scénario	Max.	Min.	Moy.	Max.	Min.	Moy.	Max.	Min.	Moy.	Max.	Min.	Moy.
Information sur les prix (\$/t)												
Prix conventionnel	530	530	530	530	530	530	530	530	530	530	530	530
Prix biologique	795	795	795	795	795	795	795	795	795	795	795	795
Prix de marché	670	670	670	670	670	670	670	670	670	670	670	670
Gain de rendement minimal (t/ha)*												
Gain minimal au prix conventionnel	0,3	0,1	0,2	0,1	0,0	0,0	0,2	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0
Gain minimal au prix biologique	0,2	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0
Gain minimal au prix de marché	0,2	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,2	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0
Gain de rendement minimal (%)												
Gain minimal au prix conventionnel	8,0	3,7	5,5	1,9	1,0	1,4	6,2	2,5	4,1	1,9	0,9	1,3
Gain minimal au prix biologique	5,3	2,5	3,7	1,3	0,6	0,9	4,1	1,7	2,8	1,2	0,6	0,9
Gain minimal au prix de marché	6,3	2,9	4,3	1,5	0,8	1,1	4,9	2,0	3,3	1,5	0,7	1,0

* Certaines valeurs sont affichées comme 0,0 lorsqu'elles sont plus petites que 0,05 t/ha.

Puisque les frais d'opération sont beaucoup plus bas que les prix retenus, l'augmentation de rendement nécessaire pour les couvrir est minimale. Les mêmes constats entre les différentes configurations de système d'irrigation et d'énergie pour la pompe sont faits. La Figure 2 permet de constater ces différences visuellement. Elle présente les gains minimaux selon les prix retenus en pourcentage, soit les trois dernières lignes du Tableau 3.

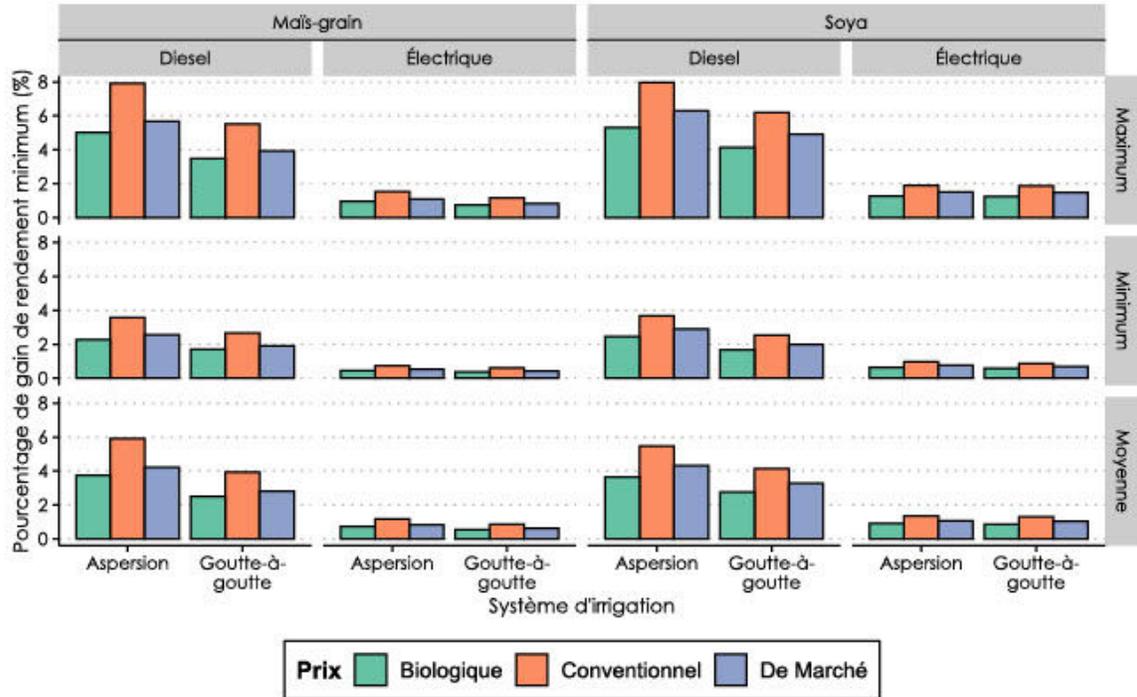


Figure 2. Distribution des pourcentages de gain de rendement minimaux pour un coût nul selon les prix retenus

Puisque les pompes au Diesel coûtent plus cher à opérer, il faut une augmentation de rendement plus importante pour les rentabiliser que pour les pompes électriques. Cela implique aussi que le risque encouru est plus grand. En effet, si les gains espérés ne se matérialisent pas, les pertes monétaires sont plus importantes. En termes de pourcentage de rendement, il faut une augmentation légèrement plus importante dans le soya que le maïs-grain.

Il est intéressant de constater que l'augmentation de rendement nécessaire demeure faible et ce peu importe le prix retenu.

DISCUSSION

L'analyse des cas présentés permet d'obtenir un portrait de l'impact des configurations étudiées (site, culture, système d'irrigation, énergie de la pompe et besoin d'irrigation) sur les frais de fonctionnement sous réserve des hypothèses de départ. Celles-ci sont particulièrement importantes puisque les frais de possession et d'approvisionnement en eau sont les principaux frais lors de l'irrigation des cultures.

Nonobstant ces limitations, les constants sont intéressants. L'élément impactant le plus les frais de fonctionnement est le type d'énergie de la pompe, celle au diesel coûtant beaucoup plus cher à opérer que celle électrique. Le système de pivot goutte-à-goutte permet une légère économie puisque la durée des irrigations est réduite. L'ensemble des configurations permet de couvrir les frais de fonctionnement avec une augmentation de moins de 8 % des rendements.

Cela permet d'envisager l'utilisation des systèmes d'irrigation dans les cultures de rotation, advenant que les hypothèses de départ soient valides, soit que la culture de la pomme de terre assume l'ensemble des frais de possession et qu'il n'y a pas d'enjeux ni de frais d'approvisionnement en eau.

RÉFÉRENCES

Centre de Référence en Agriculture et Agroalimentaire du Québec. (2022). *Machinerie - Coûts d'utilisation et taux à forfait suggéré*. AGDEX 740/825a.

Financière agricole du Québec. (2023a). *Assurance récolte prix unitaires 2023*. (<https://www.fada.qc.ca/statistiques/assurance-recolte/prix-unitaires>)

Financière agricole du Québec. (2023b). *Assurance récolte rendements de référence 2023*. (<https://www.fada.qc.ca/statistiques/assurance-recolte/rendements-de-reference>)

ANNEXE 1 : DÉTAIL DES INFORMATIONS D'IRRIGATION

Site	Site A											
	Maïs-grain											
	Aspersion						Goutte-à-goutte					
	Diésel			Électrique			Diésel			Électrique		
Scénario	Max.	Min.	Moy.	Max.	Min.	Moy.	Max.	Min.	Moy.	Max.	Min.	Moy.
Information irrigation												
Nombre d'irrigation (irrig)	3,6	1,6	2,8	3,6	1,6	2,8	4,2	2,0	3,0	4,2	2,0	3,0
Temps moyen d'irrigation (min/ha/irrig)	61	61	64	61	61	64	105	105	106	105	105	106
Heures annuelles d'irrigation (h/ha)	3,5	1,6	2,6	3,5	1,6	2,6	2,4	1,1	1,7	2,4	1,1	1,7
Quantité d'eau annuelle (mm)	72	32	56	72	32	56	42	20	30	42	20	30
Information système												
Consommation diesel (l/ha)	70,8	31,6	52,6	-	-	-	48,0	22,8	34,0	-	-	-
Consommation kwh (kwh/ha)	-	-	-	226,6	101,1	168,3	-	-	-	153,6	73,0	108,8
Temps annuel démarrage hivernage (h/ha)	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Temps supervision (h/irrig)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Temps supervision annuel (h/ha)	0,1	0,0	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

Site	Site B											
	Soya											
	Aspersion						Goutte-à-goutte					
	Diésel			Électrique			Diésel			Électrique		
Scénario	Max.	Min.	Moy.	Max.	Min.	Moy.	Max.	Min.	Moy.	Max.	Min.	Moy.
Information irrigation												
Nombre d'irrigation (irrig)	6,0	2,4	3,9	6,0	2,4	3,9	6,8	2,6	4,4	6,8	2,6	4,4
Temps moyen d'irrigation (min/ha/irrig)	63	56	60	63	56	60	100	100	99	100	100	99
Heures annuelles d'irrigation (h/ha)	5,7	2,6	3,9	5,7	2,6	3,9	4,1	1,6	2,7	4,1	1,6	2,7
Quantité d'eau annuelle (mm)	120	48	78	120	48	78	68	26	44	68	26	44
Information système												
Consommation diesel (l/ha)	68,4	30,6	46,4	-	-	-	49,0	18,7	31,9	-	-	-
Consommation kwh (kwh/ha)	-	-	-	205,2	91,8	139,3	-	-	-	146,9	56,2	95,8
Temps annuel démarrage hivernage (h/ha)	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Temps supervision (h/irrig)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Temps supervision annuel (h/ha)	0,3	0,1	0,2	0,3	0,1	0,2	0,5	0,2	0,3	0,5	0,2	0,3



CECPA

CENTRE D'ÉTUDES SUR LES COÛTS
DE PRODUCTION EN AGRICULTURE

T : 418 833-2515 | F : 418 933-9125 | www.cecpa.qc.ca