

Rapport final

No projet : IA219135

Améliorer l'efficacité de l'utilisation de l'eau dans la pomme de terre par une
connaissance plus approfondie des cultivars

Carl Boivin, Jérémie Vallée et Philippe-Antoine Taillon

Responsable scientifique : Carl Boivin

Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA)

31 mars 2021

Section 1 - Chercheurs impliqués et responsable autorisé de l'établissement

Carl Boivin

Régie de l'eau en productions fruitière et maraîchère

Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA)

2700, rue Einstein, Québec (Québec)

Canada G1P 3W8

carl.boivin@irda.qc.ca

418 643-2380, poste 430

Gaétan Bourgeois

Bioclimatologie et modélisation

Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC)

Centre de recherche et développement

430, boul. Gouin, Saint-Jean-sur-Richelieu (Québec)

Canada J3B 3E6

Gaetan.Bourgeois@canada.ca

579 224-3150

Section 2 - Partenaires

Ce projet a aussi reçu une aide financière du Consortium de recherche sur la pomme de terre du Québec (CRPTQ) – 2^e appel à projets.

Nous voulons aussi remercier La Patate Lac-Saint-Jean, Pommes de terre Laurentiennes, Québec Parmentier, ainsi que la Ferme Victorin Drolet. Nous souhaitons également remercier Daniel Bergeron qui a participé au montage de ce projet.

Équipe de réalisation

- Ferme Victorin Drolet : Norbert Drolet
- IRDA : Carl Boivin, Jérémie Vallée, Antoine Lamontagne et Michèle Grenier
- AAC : Gaétan Bourgeois
- DRCN du MAPAQ : Philippe-Antoine Taillon

Fiche de transfert

Améliorer l'efficacité de l'utilisation de l'eau dans la pomme de terre par une connaissance plus approfondie des cultivars

Carl Boivin, Jérémie Vallée et Philippe Antoine-Taillon

No de projet : IA219135

Durée : 06/2019 – 05/2021

FAITS SAILLANTS

La saison 2019 a été propice aux stress hydriques. En contexte où intervenir avec l'irrigation n'était pas possible, l'ensemble des plants ont subi des contraintes de prélèvement en eau. Le retard et le développement moindre des parties aériennes de la culture qui ont été constatés ne sont pas dus au hasard. Ce stress hydrique n'a pas eu d'effet sur le nombre de tubercules par plant, mais plutôt sur le poids moyen de ces derniers. Hormis pour Elmo et Highland Russet, l'irrigation a permis d'obtenir des gains de rendement de 23,3 % (Pomerelle Russet), 28,5 % (Campagna), 46,5 % (Rickey Russet), 56,3 % (Kalmia), 58,1 % (Russet Burbank) et 58,8 % (Colomba). L'absence de gain et l'ampleur de ce dernier renseignent aussi sur l'impact du stress hydrique selon le cultivar. Ainsi, en contexte propice au stress hydrique Elmo, Highland R. ont été des valeurs sûres et Pomerelle R. et Campagna ont été relativement peu affectés. En termes de rendement vendable, Elmo, Campagna et Highland R. ont respectivement atteint, 45,6, 41,6 et 41,0 t/ha, en contexte non irrigué. En contexte irrigué, les rendements suivants ont été mesurés : Campagna (55,1 t/ha), Kalmia (52,2 t/ha), Rickey R. (49,1 t/ha), Highland R. (48,1 t/ha), Colomba (46,7 t/ha), Elmo (45,6 t/ha), Pomerelle R. (41,8 t/ha) et Russet B. (41,7).

En 2019, il y a eu 4 périodes où les précipitations ont été absentes ou quasi absentes, soit du 5 au 12 juin, du 17 au 25 juin, du 23 juillet au 8 août et du 14 au 18 août. Les deux premières périodes ont eu lieu à un moment où le prélèvement en eau est plus faible. La période la plus importante sur le plan de la durée est celle du 23 juillet au 8 août, soit au stade de développement « Floraison-Début sénescence » où ont été concentrés de 46 à 56 % des besoins totaux en eau de la culture pour la saison. Le besoin total en eau est variable selon le cultivar et a été évalué entre 209 et 266 mm. Ce besoin est probablement surestimé pour Elmo et Highland Russet, compte tenu de l'absence de différence significative de rendement.

La sélection d'un cultivar devrait faire partie intégrante d'une stratégie d'irrigation et même d'une stratégie de résilience en contexte où le risque de stress hydrique est élevé et où intervenir avec l'irrigation n'est pas une option.

OBJECTIFS

Ce projet avait comme objectif d'améliorer l'efficacité d'utilisation de l'eau dans la production de pommes de terre et plus spécifiquement : 1) Évaluer le besoin d'approvisionnement en eau selon le cultivar pour une saison complète; 2) Anticiper les périodes plus intenses de prélèvements en eau et par conséquent, des éléments nutritifs; 3) Établir un classement des cultivars fondé sur le risque de subir un stress hydrique; et 4) Améliorer l'efficacité des outils de gestion de l'irrigation.

MÉTHODOLOGIE

Les essais ont été réalisés en 2019 et 2020 à la Ferme Victorin Drolet, située à Sainte-Catherine-de-la-Jacques-Cartier. Huit cultivars ont été suivis en contexte où l'irrigation pouvait ou non être utilisée pour éviter un stress hydrique à la culture. Ces cultivars étaient les suivants : Pomerelle Russet et Colomba (Pommes de terre Laurentiennes), Elmo et Rickey Russet (Québec Parmentier), Kalmia et Campagna (La Patate Lac-Saint-Jean), ainsi que Highland Russet et Russet Burbank. La consigne d'irrigation a été déterminée selon l'approche du « Point tournant ». Ce faisant cette consigne a été établie entre 25 et 30 kPa. Les 16 combinaisons (Cultivar x Irrigation) ont été répétées 4 fois (Blocs) et assignées selon un dispositif en tiroirs (split-plot). L'irrigation a été assignée en parcelles principales et les cultivars, en sous-parcelles. L'apport en eau a été fait avec un système par aspersion, dont le gicleur était situé au centre de la parcelle. Individuellement, ces dernières avaient une superficie de 80 m² (8 rangs de 10 m).

RÉSULTATS SIGNIFICATIFS POUR L'INDUSTRIE

Hormis pour Elmo et Highland Russet, les rendements total et vendable ont été significativement supérieurs avec l'irrigation pour les six autres cultivars en 2019 (Tableau 1). Le constat est le même pour le nombre de tubercules par plant (non significatif). Hormis pour Elmo, le poids moyen des tubercules a été significativement plus élevé avec l'irrigation. Hormis pour Colomba, le poids spécifique des tubercules à la récolte a été significativement supérieur avec l'irrigation pour les cultivars à l'étude. Aucune différence significative n'a été observée en 2020.

Tableau 1. Rendements total et vendable rapportés en t/ha et nombre total de tubercules par plant, le poids moyen (g) et poids spécifique de ces derniers au moment de la récolte.

| Cultivars | Traitements | Rendement (t/ha) | | | | Tubercules (rdt total) | | | | | |
|------------------|-------------|------------------|------|----------|------|-------------------------|------|-----------------|------|------------------|--------|
| | | Total | | Vendable | | N ^{bre} /plant | | Poids moyen (g) | | Poids spécifique | |
| | | 2019 | 2020 | 2019 | 2020 | 2019 | 2020 | 2019 | 2020 | 2019 | 2020 |
| Colomba | I | 48,6 | 67,1 | 46,7 | 63,5 | 13,0 | 19,6 | 106 | 126 | 1,0640 | 1,0567 |
| | NI | 30,6 | 57,6 | 26,3 | 55,3 | 12,4 | 18,1 | 69 | 138 | 1,0628 | 1,0578 |
| Valeur de p | | 0,0003 | | <,0001 | | 0,5815 | | <,0001 | | 0,5393 | |
| Elmo | I | 47,2 | 49,9 | 45,6 | 49,0 | 11,4 | 18,7 | 119 | 186 | 1,0645 | 1,0641 |
| | NI | 47,6 | 62,4 | 45,6 | 61,5 | 11,9 | 15,4 | 108 | 214 | 1,0612 | 1,0642 |
| Valeur de p | | 0,9322 | | 0,9909 | | 0,7024 | | 0,1494 | | 0,0891 | |
| Campagna | I | 56,4 | 59,2 | 55,1 | 58,5 | 13,3 | 12,4 | 130 | 272 | 1,0794 | 1,0626 |
| | NI | 43,9 | 49,8 | 41,6 | 42,8 | 13,1 | 8,5 | 100 | 263 | 1,0668 | 1,0686 |
| Valeur de p | | 0,0076 | | 0,0041 | | 0,8484 | | 0,0003 | | <,0001 | |
| Kalmia | I | 53,6 | 61,6 | 52,2 | 59,2 | 8,7 | 8,8 | 153 | 218 | 1,0741 | 1,0643 |
| | NI | 34,3 | 62,8 | 32,5 | 62,2 | 8,8 | 10,5 | 96 | 274 | 1,0681 | 1,0609 |
| Valeur de p | | 0,0001 | | <,0001 | | 0,9154 | | <,0001 | | 0,0026 | |
| Highland Russet | I | 48,8 | 53,4 | 48,1 | 52,4 | 10,3 | 10,3 | 150 | 218 | 1,0917 | 1,0821 |
| | NI | 42,4 | 43,1 | 41,0 | 42,2 | 11,6 | 9,8 | 116 | 195 | 1,0789 | 1,0808 |
| Valeur de p | | 0,1490 | | 0,1164 | | 0,2555 | | <,0001 | | <,0001 | |
| Pomerelle Russet | I | 42,2 | 44,8 | 41,8 | 43,4 | 5,6 | 9,0 | 186 | 255 | 1,0812 | 1,0727 |
| | NI | 34,8 | 41,5 | 34,0 | 40,3 | 6,1 | 8,5 | 147 | 265 | 1,0734 | 1,0711 |
| Valeur de p | | 0,1009 | | 0,0827 | | 0,6713 | | <,0001 | | 0,0002 | |
| Rickey Russet | I | 51,7 | 40,8 | 49,1 | 38,6 | 13,9 | 10,8 | 105 | 107 | 1,0850 | 1,0720 |
| | NI | 35,3 | 43,3 | 31,3 | 41,0 | 12,8 | 11,1 | 78 | 119 | 1,0771 | 1,0743 |
| Valeur de p | | 0,0008 | | 0,0003 | | 0,3527 | | 0,0008 | | <,0001 | |
| Russet Burbank | I | 46,0 | 44,4 | 41,7 | 39,6 | 16,5 | 17,5 | 89 | 125 | 1,0906 | 1,0757 |
| | NI | 29,1 | 44,2 | 23,0 | 40,4 | 15,4 | 11,6 | 61 | 155 | 1,0761 | 1,0767 |
| Valeur de p | | 0,0006 | | 0,0002 | | 0,3637 | | 0,0007 | | <,0001 | |

Le risque de subir un stress hydrique est certes une information pertinente, mais qui demeure peu utile si l'impact de ce risque est inconnu. En y combinant les résultats obtenus en 2019 pour les rendements, il est possible de construire une matrice des risques (Figure 1). La proportion du temps où la RFU a été épuisée entre la plantation et la récolte (SÉN-RÉC) a été utilisée pour déterminer le risque de subir un stress hydrique. Le gain en rendement en contexte irrigué, comparativement à celui non irrigué, a été utilisé pour déterminer l'impact possible sur le rendement.

En fonction de l'évapotranspiration de la culture (ET_{c-TDR}) mesurée pour Elmo, ce dernier se retrouve dans la catégorie « élevée » pour le risque de subir un stress hydrique, mais l'absence de différence de rendement entre les traitements avec et sans irrigation indique que la possibilité que ce risque se traduise en baisse de rendement est faible. Rickey Russet et Kalmia ont aussi un risque élevé de subir un stress hydrique, mais la possibilité que ce risque se traduise en une baisse de rendement est élevée dans leur cas. Même avec un risque de stress hydrique moyen, la possibilité que cela se traduise en une baisse de rendement est élevée pour Russet Burbank et Colomba, alors qu'il est modéré pour Campagna. Le risque de subir un stress hydrique est faible pour Highland Russet et Pomerelle Russet et la possibilité que ce risque se traduise en baisse de rendement est moyennement faible pour Pomerelle Russet et faible pour Highland Russet.

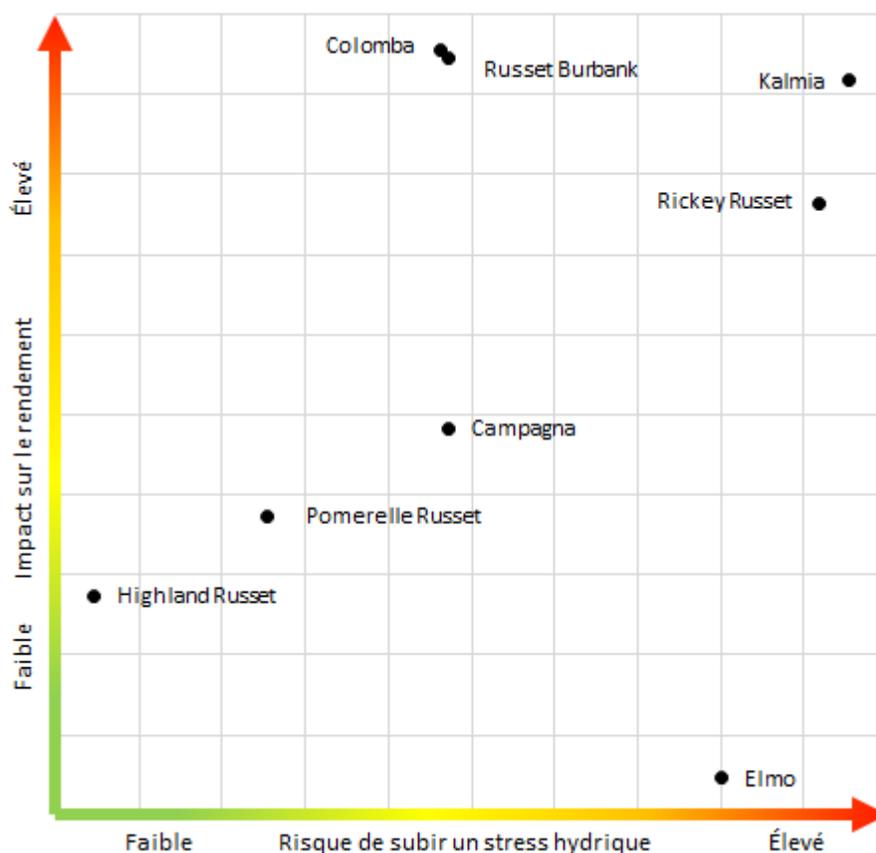


Figure 1. Matrice des risques issue des résultats obtenus en 2019.

APPLICATIONS POSSIBLES POUR L'INDUSTRIE ET SUIVI À DONNER

La décision de choisir un cultivar repose sur plusieurs facteurs et le risque de stress hydrique auquel l'entreprise est exposée devrait être un de ces facteurs. Sachant que l'impact agronomique d'un stress hydrique est différent selon le cultivar, être renseigné à ce sujet favorisera des choix éclairés et profitables pour l'entreprise. Un module de bilan hydrique sera implanté au logiciel CIPRA au printemps 2021. L'utilité de cet outil repose entre autres sur la disponibilité de coefficients culturaux (K_c) validés.

Il serait judicieux de réaliser d'autres essais pour valider la performance des cultivars de pommes de terre et des K_c dans plusieurs contextes pédologiques et sur plusieurs années. Cela permettrait, notamment, à l'industrie de connaître précisément la performance des cultivars utilisés et ainsi maximiser la compétitivité de leur secteur d'activité.

POINT DE CONTACT POUR INFORMATION

Carl Boivin - IRDA - 418 643-2380 (poste 430) carl.boivin@irda.qc.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 aussi reçu une aide financière du Consortium de recherche sur la pomme de terre du Québec (CRPTQ) – 2^e appel à projets.

Nous voulons aussi remercier La Patate Lac-Saint-Jean, Pommes de terre Laurentiennes, Québec Parmentier, ainsi que la Ferme Victorin Drolet.

Section 4 - Activité de transfert et de diffusion scientifique

Colloque sur la pomme de terre « Quels sont les cultivars à irriguer » Affiche scientifique 22 novembre 2019

CAMPAGNA, COLOMBA, ELMO, KALMIA, HIGHLAND RUSSET, POMERELLE RUSSET, RICKEY RUSSET ET RUSSET BURBANK
QUELS SONT LES CULTIVARS À IRRIGUER?

JÉRÉMIE VALLÉE, AGR., M. SC.¹; CARL BOIVIN, AGR., M. SC.¹; PHILIPPE-ANTOINE TAILLON, AGR.²; DANIEL BERGERON, AGR., M. SC.

¹ Institut de recherche et de développement en agroenvironnement / ² Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ)



INTRODUCTION

De plus en plus de superficies en pommes de terre sont équipées pour être irriguées. Les volumes d'eau utilisés sont importants et cela exerce une pression importante sur la ressource. Il est agronomiquement, économiquement et environnementalement important de viser une bonne efficacité d'utilisation de l'eau et l'atteinte de cet objectif passe par l'adoption d'une gestion raisonnée de l'irrigation (GRI). Celle-ci doit être adaptée au cultivar et les connaissances actuelles préviennent des lacunes qui entravent l'application d'une GRI. Le secteur de la pomme de terre est très hétérogène lorsqu'il est décortiqué selon le nombre de cultivars utilisés. Or, il s'agit des besoins en fertilisation ou du potentiel de rendement, ils sont différents d'un cultivar à l'autre et c'est tout aussi vrai pour leur besoin en eau. Une GRI est d'autant plus importante que le type de sol (léger) est favorable au lessivage du nitrate et au risque de subir un stress hydrique. L'approvisionnement en eau peut devenir un enjeu très important pour une entreprise et une source de conflit (cohabitation). Les connaissances des besoins en eau qui sont spécifiques au cultivar et à son stade de développement sont des sources d'informations privilégiées. La sélection d'un cultivar devrait faire partie intégrante d'une stratégie d'irrigation. Une telle stratégie ne peut fonctionner sans l'intégration d'outils de gestion et d'aide à la décision, dont la performance dépend entre autres d'informations spécifiques à chacun des cultivars.

MÉTHODOLOGIE

Ce projet vise à optimiser l'utilisation de l'eau dans la production de pommes de terre. Pour ce faire, huit cultivars sont soumis à une régie de culture avec et sans apport en eau avec un système d'irrigation par aspersion. Des cultivars sont Campagna, Highland Russet, Elmo, Kalmia, Pomerelle Russet, Colomba, Rickey Russet et Russet Burbank. Les essais sont réalisés en conditions de productions commerciales à la Ferme Victor Drolet, dans la région de Portneuf et ils se termineront en 2020. De plus, dans le cadre de ce projet, l'équipe de régie de l'eau de l'Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA) et celle de recherche en bioclimatologie et modélisation du Centre de recherche de développement d'Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC) travaillent en étroite collaboration avec La Patate Lac-Saint-Jean, Pommes de terre Laurentiennes et QuébecPâtates et la Direction régionale de la Capitale-Nationale du ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ).

Régie d'irrigation

La consigne d'irrigation a été déterminée grâce au point tournant (Boivin et coll., 2013). Ce faisant, la consigne d'irrigation a été établie entre 20 et 30 kPa et a été suivie à l'aide de tensiomètres. La hauteur d'eau cible pour une épaisseur d'irrigation était de 18 mm, soit un peu moins de 3 heures avec le système par aspersion qui a été utilisé (6,3 mm/h).

RÉSULTATS

Conditions météorologiques et irrigation

| Cultivars | Évapotranspiration potentielle (mm) | Pluviométrie (mm) |
|---------------------|-------------------------------------|-------------------|
| Elmo ¹ | 410 | 428 |
| Russet ² | 402 | 421 |

¹ Colomba et Kalmia ont été récoltés le 13 septembre 2019.
² Elmo, Campagna, Highland Russet, Pomerelle Russet, Rickey Russet et Russet Burbank ont été récoltés le 30 septembre 2019.

Tableau 2. Nombre et durée des épisodes d'irrigation et volume d'eau apporté.

| Nombre d'épisodes | Durée moyenne (minutage) | Volume moyen (m ³ /ha) | Volume total (m ³ /ha) | Hauteur d'eau moyenne (mm) | Hauteur d'eau totale (mm) |
|-------------------|--------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------|---------------------------|
| 10 | 166 | 155 | 1554 | 15,5 | 155,4 |

Statut hydrique du sol

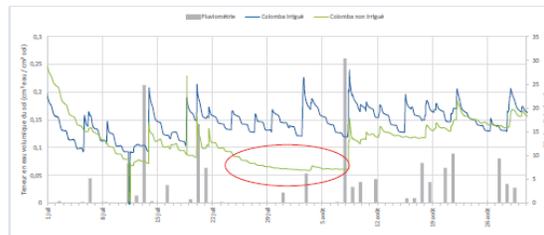


Figure 1. Chronique de la teneur en eau volumique du sol (cm³ eau / cm³ sol) selon le traitement pour le cultivar Colomba à pluviométrie, 2019.

Rendement vendable

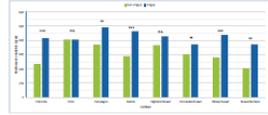


Figure 2. Rendement vendable (quintaux/acre) selon le cultivar et le traitement, saison 2019.

Nombre total de tubercules

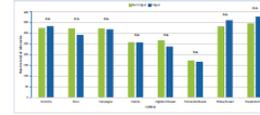


Figure 3. Nombre total de tubercules selon le cultivar et le traitement, saison 2019.

Poids moyen des tubercules

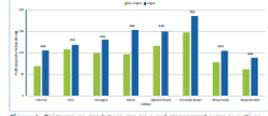


Figure 4. Poids moyen des tubercules (g) avant classement selon le cultivar et le traitement, saison 2019.

Poids spécifique par cultivar

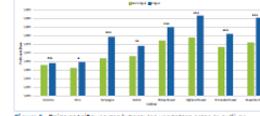


Figure 5. Poids spécifiques des tubercules vendables selon le cultivar et le traitement, saison 2019.

Pour toutes les figures T p < 0,1, * p < 0,05, ** p < 0,01, *** p < 0,001, n.s.: non significatif

CONCLUSIONS DE LA 1^{RE} ANNÉE

En théorie, la pluviométrie totale a été suffisante pour combler les besoins en eau des cultivars à l'étude (Tableau 1). En pratique, le volume de sol colonisé par les racines, la capacité de rétention en eau du sol au moment de l'apport, la hauteur requise et la distribution des épisodes de pluie affectent grandement la hauteur qui a un potentiel d'être valorisée par la culture. La première irrigation a été effectuée le 9 juillet, lors de la première période où les précipitations ont été plus faibles (Figure 1). Durant cette période, le système d'irrigation a été actionné une deuxième fois le 8 juillet. La seconde période propice à un stress hydrique a débuté le 25 juillet et s'est terminée le 8 août. Quatre épisodes d'irrigation ont été effectués durant ces 17 jours. Pour la saison, la consigne d'irrigation a été atteinte à 10 reprises durant la saison (Tableau 2).

Les résultats de cette première année démontrent que la réponse à l'irrigation est différente selon le cultivar. En 2019, les différences observées entre le témoin non irrigué et le traitement irrigué s'expliquent par des augmentations du rendement vendable variant entre 0 et 82 % selon les cultivars (Figure 2). Hormis pour Elmo et Highland Russet, l'irrigation a permis d'augmenter le rendement vendable en tubercules pour tous les autres cultivars. En ce qui a trait au nombre de tubercules (avant classement), il n'est pas significativement différent, qu'il y ait eu ou non des apports en eau avec l'irrigation (Figure 3). La différence de rendement a été attribuable, dans tous les cas, à l'augmentation du poids moyen du tubercule (Figure 4). Enfin, le poids spécifique des tubercules des cultivars de type Russet, a profité de l'irrigation (Figure 5). Le poids spécifique en condition de conservation longue durée sera également évalué.

Et maintenant quels seraient les cultivars à irriguer?

En l'absence d'irrigation, le cultivar Elmo a, sans conteste, attiré les regards puisqu'il a maintenu un bon rendement vendable en condition non irriguée. Le cultivar Elmo pourrait s'avérer un cultivar résilient à la sécheresse, car il n'y a eu aucune différence de rendement entre le traitement irrigué et non irrigué. Finalement, la Campagna et la Highland Russet ont aussi obtenu de bons rendements en conditions non irriguées, ce qui pourrait en faire des cultivars intéressants à cultiver dans un contexte non irrigué ou en contexte d'approvisionnement en eau limité.

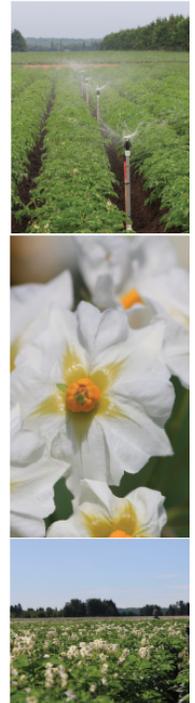
En guise de conclusion, il faut s'attendre à ce que la réponse à l'irrigation soit différente d'une saison à l'autre et d'un cultivar à l'autre. Dans un contexte où les conditions météorologiques sont variables et imprévisibles d'une saison à l'autre, la réponse à l'irrigation reste difficile à anticiper d'une manière absolue. Ces essais seront répétés à l'été 2020.

RÉFÉRENCE

Boivin et coll., 2013. Gestion raisonnée de l'irrigation – Guide technique. Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec, 312 p.

REMERCIEMENTS

Ces travaux ont bénéficié de l'utilisation de l'eau dans la pomme de terre par une consigne plus appropriée des cultivateurs ont été facilités grâce à une aide financière du Programme Innovation agricole, un programme issu du Accord Canada-Québec de 2014 et financé par le Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec et le Programme de l'agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ). Ce projet a aussi reçu une aide financière du Consortium de recherche en pomme de terre du Québec (CRPTQ) de 2014 à 2019 – Programme de recherche 2014-2019 du CRPTQ. Nous remercions également le Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec (CRAAQ) pour son soutien financier. Les auteurs tiennent à remercier également les partenaires (IRDA, Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ), Ferme Victor Drolet (FVD) et les étudiants d'été pour leur contribution au projet.



Colloque sur l'irrigation « Gestion de l'eau en contexte de disponibilité limitée de cette ressource »

Conférence
24 février 2021

Mention des résultats du projet

https://www.craaq.qc.ca/Evenements-du-CRAAQ/colloque-sur-l-irrigation-2021/e/2569#tab_tab-programme

Section 5 - Activités de diffusion et de transfert aux utilisateurs

Demi-journée d'information sur la pomme de terre

Activité de type « Portes ouvertes »

22 août 2019

Ferme Victorin Drolet

Sainte-Catherine-de-la-Jacques-Cartier

https://www.agrireseau.net/documents/Document_100850.pdf

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>L'importance de connaître le degré du risque de stress hydrique auquel est exposée l'entreprise.</p> | <p>Producteurs de pommes de terre</p> | <p>Pour être en mesure de valoriser les résultats de ce projet, l'entreprise doit connaître la RFU de chacun des champs utilisés pour la production. De plus, en contexte irrigué, elle doit aussi connaître son besoin d'approvisionnement en eau et si elle dispose des ressources en conséquence.</p> | <p>a) Formations</p> |
| <p>La sélection d'un cultivar devrait faire partie intégrante d'une stratégie d'irrigation et même d'une stratégie de résilience en contexte où le risque de stress hydrique est élevé et où intervenir avec l'irrigation n'est pas une option.</p> | <p>Producteurs de pommes de terre Conseillers agricoles</p> | <p>Certains cultivars vont bien performer en contexte propice au stress hydrique, alors qu'en contexte où un objectif de confort hydrique est atteignable et pertinent, d'autres cultivars devraient être sélectionnés.</p> | <p>a) Formations b) Poursuivre ce type d'essais avec un plus grand nombre de cultivars et de contexte pédologiques. Un peu comme les essais de fertilisation en cours pour conduire à la révision des grilles de référence en fertilisation.</p> |
| <p>La gestion de l'irrigation et du risque que la culture subisse un stress hydrique doit se faire avec de l'information provenant d'outils d'aide à la décision et en accord avec la stratégie adoptée</p> <p>Un module de bilan hydrique sera implanté au logiciel CIPRA au printemps 2021. L'utilité de cet outil repose entre autres sur la disponibilité de coefficients culturaux (Kc) validés.</p> | <p>Producteurs de pommes de terre</p> | <p>Une fois les plantons en terre, la gestion de l'irrigation et du risque que la culture subisse un stress hydrique doit se faire avec de l'information en temps réel, provenant d'outils d'aide à la décision et en accord avec la stratégie adoptée. Les conditions météorologiques sont variables et imprévisibles et peuvent devenir un facteur facilitant comme aggravant.</p> | <p>a) Formations b) Maintenir le type de support actuel offert par la mesure 4304 du Programme Prime-Vert du MAPAQ</p> |

Section 7 - Contribution et participation de l'industrie réalisées

- Consortium de recherche sur la pomme de terre du Québec (CRPTQ)
 - Contribution en argent
- Ferme Victorin Drolet :
 - Ressources humaines
- La Patate Lac-Saint-Jean, Pommes de terre Laurentiennes et Québec Parmentier
 - Ressources humaines
 - Semences de pommes de terre

Section 8 - Rapport scientifique et/ou technique

Rapport final

No projet : IA219135

Améliorer l'efficacité de l'utilisation de l'eau dans la pomme de terre par une
connaissance plus approfondie des cultivars

Carl Boivin, Jérémie Vallée et Philippe-Antoine Taillon

Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA)

31 mars 2021

PARTENAIRES FINANCIERS 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 aussi reçu une aide financière du Consortium de recherche sur la pomme de terre du Québec (CRPTQ) – 2^e appel à projets.

Nous voulons aussi remercier La Patate Lac-Saint-Jean, Pommes de terre Laurentiennes, Québec Parmentier, ainsi que la Ferme Victorin Drolet.

Équipe de réalisation

- Ferme Victorin Drolet : Norbert Drolet
- IRDA : Carl Boivin, Jérémie Vallée, Antoine Lamontagne et Michèle Grenier
- AAC : Gaétan Bourgeois
- DRCN du MAPAQ : Philippe-Antoine Taillon

Nous souhaitons également remercier Daniel Bergeron qui a participé au montage de ce projet.

RÉSUMÉ

De plus en plus de superficies en pommes de terre sont équipées pour être irriguées. Les volumes d'eau utilisés sont importants et cela exerce une pression importante sur la ressource. Il est agronomiquement, économiquement et environnementalement important de viser une bonne efficacité d'utilisation de l'eau et l'atteinte de cet objectif passe par l'adoption d'une gestion raisonnée de l'irrigation (GRI). Celle-ci devrait être adaptée au cultivar, mais les connaissances actuelles présentent des lacunes qui entravent l'application d'une GRI. Le secteur de la pomme de terre est très hétérogène lorsqu'il est décortiqué selon le nombre de cultivars utilisés. Qu'il s'agisse des besoins en fertilisation ou du potentiel de rendement, ils peuvent être différents d'un cultivar à l'autre et c'est tout aussi vrai pour leur besoin en eau.

Une GRI est d'autant plus importante que le type de sol léger, qui est généralement utilisé pour la pomme de terre, est favorable au lessivage du nitrate et au risque que la culture subisse un stress hydrique. L'approvisionnement en eau pouvant devenir un enjeu très important pour une entreprise et une source de conflit (cohabitation), préciser les besoins en eau de la pomme de terre selon le cultivar et le stade de développement devient de l'information privilégiée. La sélection d'un cultivar devrait faire partie intégrante d'une stratégie d'irrigation et même d'une stratégie de résilience en contexte où le risque de stress hydrique est élevé et où intervenir avec l'irrigation n'est pas une option. Une telle stratégie ne peut fonctionner sans l'intégration d'outils d'aide à la décision en irrigation, dont la performance dépend entre autres d'informations spécifiques à chacun des cultivars.

Ce projet avait comme objectif d'améliorer l'efficacité d'utilisation de l'eau dans la production de pommes de terre et plus spécifiquement : 1) Évaluer le besoin d'approvisionnement en eau selon le cultivar pour une saison complète; 2) Anticiper les périodes plus intenses de prélèvements en eau et par conséquent, des éléments nutritifs; 3) Établir un classement des cultivars fondé sur le risque de subir un stress hydrique; et 4) Améliorer l'efficacité des outils de gestion de l'irrigation.

Les essais ont été réalisés en conditions de productions commerciales de pommes de terre à la Ferme Victorin Drolet située dans la région de Portneuf. Les huit cultivars qui ont été choisis pour le projet sont : Pomerelle Russet et Colomba (Pommes de terre Laurentiennes), Elmo et Rickey Russet (Québec Parmentier), Kalmia et Campagna (La Patate Lac-Saint-Jean), ainsi que Highland Russet et Russet Burbank.

La saison 2019 a été propice aux stress hydriques. En contexte où intervenir avec l'irrigation n'était pas permis, l'ensemble des plants ont subi des contraintes de prélèvement en eau. Le retard et le développement moindre des parties aériennes de la culture qui ont été constatés ne sont pas dus au hasard. Ce stress hydrique n'a pas eu d'effet sur le nombre de tubercules par plant, mais plutôt sur le poids moyen de ces derniers. Hormis pour Elmo et Highland Russet, l'irrigation a permis d'obtenir des gains de rendement de 23,3 % (Pomerelle Russet), 28,5 % (Campagna), 46,5 % (Rickey Russet), 56,3 % (Kalmia), 58,1 % (Russet Burbank) et 58,8 % (Colomba). L'absence de gain et l'ampleur de ce dernier renseignent aussi sur l'impact du stress hydrique selon le cultivar. Ainsi, en contexte propice au stress hydrique Elmo, Highland R. ont été des valeurs sûres et Pomerelle R. et Campagna ont été relativement peu affectés. En termes de rendement vendable maximale, Elmo, Campagna et Highland R. ont respectivement atteint, en t/ha, 45,6, 41,6 et 41,0, toujours en contexte non irrigué. En contexte irrigué, les rendements suivants ont été mesurés : Campagna (55,1 t/ha), Kalmia (52,2), Rickey Russet (49,1 t/ha), Highland R. (48,1 t/ha), Colomba (46,7 t/ha), Elmo (45,6 t/ha), Pomerelle R. (41,8 t/ha) et Russet B. (41,7).

En 2019, il y a eu 4 périodes où les précipitations ont été absentes ou quasi absentes, soit du 5 au 12 juin, du 17 au 25 juin, du 23 juillet au 8 août et du 14 au 18 août. Les deux premières périodes ont eu lieu à un moment où le prélèvement en eau est plus faible. La période la plus importante sur le plan de la durée est celle du 23 juillet au 8 août, soit au stade de développement « Floraison-Début sénescence » où ont été concentrés de 46 à 56 % des besoins totaux en eau de la culture pour la saison. Le besoin total en eau est variable selon le cultivar et a été évalué entre 209 et 266 mm. Ce besoin est probablement surestimé pour Elmo et Highland Russet, compte tenu de l'absence de différence de rendement.

Le risque de subir un stress hydrique est certes une information pertinente, mais qui demeure peu utile si l'impact de ce risque est inconnu. En y combinant les résultats obtenus en 2019 pour les rendements, il a été possible de construire une matrice des risques (Figure 1). La proportion du temps où la RFU a été épuisée entre la plantation et la récolte (SÉN-RÉC) a été utilisée pour déterminer le risque de subir un stress hydrique. Le gain en rendement en contexte irrigué, comparativement à celui non irrigué, a été utilisé pour déterminer l'impact possible sur le rendement.

En fonction de l'évapotranspiration de la culture (ET_{c-TDR}) mesurée pour Elmo, ce dernier se retrouve dans la catégorie « élevée » pour le risque de subir un stress hydrique, mais l'absence de différence de rendement entre les traitements avec et sans irrigation indique que la possibilité que ce risque se traduise en baisse de rendement est faible. Rickey Russet et Kalmia ont aussi un risque élevé de subir un stress hydrique, mais la possibilité que ce risque se traduise en une baisse de rendement est élevée dans leur cas. Même avec un risque de stress hydrique moyen, la possibilité que cela se traduise en une baisse de rendement est élevée pour Russet Burbank et Colomba, alors qu'il est modéré pour Campagna. Le risque de subir un stress hydrique est faible pour Highland Russet et Pomerelle Russet et la possibilité que ce risque se traduise en baisse de rendement est moyennement faible pour Pomerelle Russet et faible pour Highland Russet.

TABLE DES MATIÈRES

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | Introduction et contexte..... | 8 |
| 2 | Objectifs..... | 9 |
| 3 | Méthodologie | 10 |
| 3.1 | Sites expérimentaux | 10 |
| 3.2 | Régie de culture..... | 10 |
| 3.3 | Traitements..... | 10 |
| 3.3.1 | Cultivars | 10 |
| 3.3.2 | Irrigation | 10 |
| 3.4 | Dispositifs expérimentaux et analyses statistiques | 11 |
| 3.4.1 | Précisions pour la saison 2020..... | 11 |
| 3.5 | Collecte des données | 14 |
| 3.5.1 | Caractérisation du sol..... | 14 |
| 3.5.2 | Conditions météorologiques et évapotranspirations potentielle..... | 14 |
| 3.5.3 | Coefficients culturaux (K_c) | 14 |
| 3.5.4 | Hauteur d'eau provenant des précipitations qui est potentiellement valorisable par la culture (HEPPVC)..... | 14 |
| 3.5.5 | Développement des plants..... | 15 |
| 3.5.6 | Récolte | 15 |
| 4 | Résultats..... | 16 |
| 4.1 | Caractérisation du sol | 16 |
| 4.2 | Précipitations | 16 |
| 4.3 | Évapotranspiration, coefficients culturaux, RFU et stress hydrique | 18 |
| 4.4 | Nombre d'épisodes d'irrigation | 23 |
| 4.5 | Recouvrement du couvert végétal | 23 |
| 4.6 | Poids en matière sèche des parties aérienne | 26 |
| 4.7 | Rendements | 28 |
| 5 | Analyse et discussion selon les objectifs | 35 |
| 5.1 | Évaluer le besoin d'approvisionnement en eau selon le cultivar pour une saison complète 35 | |
| 5.2 | Anticiper les périodes plus intenses de prélèvements en eau et par conséquent, des éléments nutritifs | 36 |
| 5.3 | Établir un classement des cultivars fondé sur le risque de subir un stress hydrique | 36 |
| 5.4 | Améliorer l'efficacité des outils de gestion de l'irrigation | 38 |
| 6 | Conclusion | 39 |
| 7 | Références | 40 |
| 8 | Annexe..... | 41 |

LISTE DES TABLEAUX

| | |
|--|----|
| Tableau 1. Cultivars retenus pour le projet et l'espacement entre deux plantons sur le rang selon le cultivar..... | 10 |
| Tableau 2. Caractérisation du sol en 2019..... | 16 |
| Tableau 3. Caractérisation du sol en 2020..... | 16 |
| Tableau 4. Coefficients culturaux (K_c) et évapotranspiration de la culture (ET_{c-TDR}) selon le cultivar et la période où ce dernier a été dans un stade donné de développement – Saison 2019..... | 18 |
| Tableau 5. Évapotranspiration potentielle (ET_p) et de la culture (ET_{c-TDR}), précipitations totales et proportion potentiellement valorisable et hauteur d'eau à combler avec l'irrigation entre PL-RÉC selon le cultivar – Saison 2019. | 19 |
| Tableau 6. Conditions météorologiques mesurées pour une valeur d' ET_p quotidienne donnée – Saison 2019..... | 20 |
| Tableau 7. Hauteur d'eau appliquée par épisode d'irrigation selon la date de l'apport – Saison 2019..... | 23 |
| Tableau 8. Hauteur d'eau appliquée par épisode d'irrigation selon la date de l'apport – Saison 2020..... | 23 |
| Tableau 9. Poids en matières sèches des parties aériennes des plants de pommes de terre au 18 juillet et au 15 août 2019..... | 26 |
| Tableau 10. Analyse de la variance des variables ayant trait au rendement (2019 et 2020). | 28 |
| Tableau 11. Rendements total et vendable rapportés en t/ha et nombre total de tubercules par plant, ainsi que le poids moyen (g) et poids spécifique de ces derniers au moment de la récolte. . | 29 |
| Tableau 12. Gain significatif ($p \leq 0,10$) en rendement obtenu (t/ha et %) avec l'irrigation en 2019. | 32 |

LISTE DES FIGURES

| | |
|--|----|
| Figure 1. Schéma du dispositif expérimental – Saison 2019..... | 12 |
| Figure 2. Schéma du dispositif expérimental – Saison 2020..... | 13 |
| Figure 3. Pluviométrie quotidienne et cumulative (mm) du 23 mai au 30 septembre 2019..... | 17 |
| Figure 4. Pluviométrie quotidienne et cumulative (mm) du 20 mai au 28 septembre 2020..... | 17 |
| Figure 5. Proportion du nombre de jours où la RFU est épuisée durant la période PL-RÉC selon l'ET _{C-TDR} des 8 cultivars – Saison 2019. | 19 |
| Figure 6. Évapotranspiration potentielle (ET _p) et évapotranspiration de la culture (ET _{C-TDR}) sur une base quotidienne selon le cultivar « Groupe Russet » – Sans irrigation, saison 2019. | 21 |
| Figure 7. Évapotranspiration potentielle (ET _p) et évapotranspiration de la culture (ET _{C-TDR}) sur une base quotidienne selon le cultivar « Groupe Russet » – Avec irrigation, saison 2019. | 21 |
| Figure 8. Évapotranspiration potentielle (ET _p) et évapotranspiration de la culture (ET _{C-TDR}) sur une base quotidienne selon le cultivar – Sans irrigation, saison 2019. | 22 |
| Figure 9. Évapotranspiration potentielle (ET _p) et évapotranspiration de la culture (ET _{C-TDR}) sur une base quotidienne selon le cultivar – Avec irrigation, saison 2019. | 22 |
| Figure 10. Proportion de la surface du sol recouvert par le couvert végétal selon la date et le cultivar « Groupe Russet » - Avec irrigation, saison 2019..... | 24 |
| Figure 11. Proportion de la surface du sol recouvert par le couvert végétal selon la date et le cultivar « Groupe Russet » - Sans irrigation, saison 2019. | 24 |
| Figure 12. Proportion de la surface du sol recouvert par le couvert végétal selon la date et le cultivar - Avec irrigation, saison 2019. | 25 |
| Figure 13. Proportion de la surface du sol recouvert par le couvert végétal selon la date et le cultivar - Sans irrigation, saison 2019. | 25 |
| Figure 14. Poids en matières sèches des parties aériennes des plants de pommes de terre au 18 juillet 2019..... | 27 |
| Figure 15. Poids en matières sèches des parties aériennes des plants de pommes de terre au 15 août 2019..... | 27 |
| Figure 16. Poids moyen des tubercules (g) selon leur nombre total par plant lors de la récolte 2019 – Avec irrigation. | 30 |
| Figure 17. Poids moyen des tubercules (g) selon leur nombre total par plant lors de la récolte 2019 – Sans irrigation. | 31 |
| Figure 18. Poids moyen des tubercules lors de la récolte 2019 selon le gain ou la perte en matière sèche des parties aériennes des plants – Avec irrigation. | 31 |
| Figure 19. Poids moyen des tubercules lors de la récolte 2019 selon le gain ou la perte en matière sèche des parties aériennes des plants – Sans irrigation. | 31 |
| Figure 20. Rendement total et vendable (t/ha) pour une parcelle donnée en contexte irrigué – Saison 2019..... | 33 |
| Figure 21. Rendement total et vendable (t/ha) pour une parcelle donnée en contexte non irrigué – Saison 2019..... | 34 |
| Figure 22. Matrice des risques issue des résultats obtenus en 2019..... | 37 |
| Figure 23. Gabarit de 14 pouces utilisé lors de la plantation..... | 41 |
| Figure 24. Gicleur au centre d'une parcelle (28 juin 2019)..... | 42 |
| Figure 25. Dispositif expérimental (18 juillet 2019) | 43 |

1 Introduction et contexte

De plus en plus de superficies en pommes de terre sont équipées pour être irriguées. Les volumes d'eau utilisés sont importants et cela exerce une pression importante sur la ressource. Il est agronomiquement, économiquement et environnementalement important de viser une bonne efficacité d'utilisation de l'eau et l'atteinte de cet objectif passe par l'adoption d'une gestion raisonnée de l'irrigation (GRI). Celle-ci devrait être adaptée au cultivar, mais les connaissances actuelles présentent des lacunes qui entravent l'application d'une GRI.

Le secteur de la pomme de terre est très hétérogène lorsqu'il est décortiqué selon le nombre de cultivars utilisés. Qu'il s'agisse des besoins en fertilisation ou du potentiel de rendement, ils peuvent différer d'un cultivar à l'autre et c'est tout aussi vrai pour leur besoin en eau. Une GRI est d'autant plus importante que le type de sol léger, qui est généralement utilisé pour la pomme de terre, est favorable au lessivage du nitrate et au risque que la culture subisse un stress hydrique.

L'approvisionnement en eau pouvant devenir un enjeu très important pour une entreprise et une source de conflit (cohabitation), préciser les besoins en eau de la pomme de terre selon le cultivar et le stade de développement devient de l'information privilégiée. La sélection d'un cultivar devrait faire partie intégrante d'une stratégie d'irrigation et même d'une stratégie de résilience en contexte où le risque de stress hydrique est élevé et où intervenir avec l'irrigation n'est pas une option. Une telle stratégie ne peut fonctionner sans l'intégration d'outils de gestion et d'aide à la décision, dont la performance dépend entre autres d'informations spécifiques à chacun des cultivars.

2 Objectifs

Général

Améliorer l'efficacité d'utilisation de l'eau dans la production de pommes de terre.

Spécifiques

- 1) Évaluer le besoin d'approvisionnement en eau selon le cultivar pour une saison complète.
- 2) Anticiper les périodes plus intenses de prélèvements en eau et par conséquent, des éléments nutritifs.
- 3) Établir un classement des cultivars fondé sur le risque de subir un stress hydrique.
- 4) Améliorer l'efficacité des outils de gestion de l'irrigation.

3 Méthodologie

3.1 Sites expérimentaux

Les essais ont été réalisés en conditions de productions commerciales de pommes de terre à la Ferme Victorin Drolet située dans la région de Portneuf.

3.2 Régie de culture

La régie de culture a été sous la responsabilité de l'entreprise où les essais ont été réalisés.

3.3 Traitements

3.3.1 Cultivars

Les cultivars retenus pour le projet, ainsi que l'espacement entre deux plantons sont présentés au Tableau 1. Des « gabarits » spécifiques à un espacement donné ont été utilisés lors de plantation (Figure 23).

Tableau 1. Cultivars retenus pour le projet et l'espacement entre deux plantons sur le rang selon le cultivar.

| Cultivars | Espacement (cm) |
|------------------|-----------------|
| Colomba | 30,5 |
| Elmo | 28,0 |
| Kalmia | 25,4 |
| Campagna | 30,5 |
| Highland Russet | 35,6 |
| Russet Burbank | 35,6 |
| Rickey Russet | 30,5 |
| Pomerelle Russet | 25,4 |

3.3.2 Irrigation

L'irrigation des parcelles a été effectuée au moyen d'un gicleur (Xcel-Wobbler, Senninger) installé au centre de chaque parcelle (Figure 24). Le suivi des volumes d'eau utilisés lors des irrigations a été effectué à l'aide d'un débitmètre (Tx-81, Seametrics) qui était relié à un acquiiseur de données (CR200X, Campbell Scientific). Les lectures du débitmètre ont été enregistrées chaque minute. Le débitmètre de type turbine a été installé sur la conduite principale à l'aide d'un raccord en laiton calibré (coefficient K connu).

La consigne d'irrigation a été déterminée grâce au suivi du statut hydrique du sol qui a permis d'identifier le « Point tournant » (Boivin et coll., 2018). Ce faisant, la consigne d'irrigation a été établie entre 25 et 30 kPa et a été suivie à l'aide de tensiomètres. La hauteur d'eau ciblée pour un épisode d'irrigation était de 15 mm avec un système par aspersion qui appliquait 6,3 mm/h.

3.4 Dispositifs expérimentaux et analyses statistiques

En 2019 et 2020, le dispositif a été en split-plot où le traitement d'irrigation a été en parcelles principales arrangées en blocs aléatoires complets et les cultivars ont attribués de façon aléatoire aux sous-parcelles. L'ensemble des plantons ont été mis en terre le 23 mai en 2019 et le 20 mai en 2020. Une unité expérimentale était composée de 8 rangs de large, chacun d'une longueur de 10 m. Chacun des 4 blocs était composé de 16 unités expérimentales (total de 64 u.é. sur 1,3 ha). Pour éviter qu'une unité expérimentale non irriguée puisse être à la portée d'un gicleur d'une unité qui était irriguée, une zone tampon, d'un minimum de 8 rangs, séparait une parcelle principale d'une autre. De plus, aucune roue de machinerie (ex. pulvérisateur de pesticides) ne passait dans les unités expérimentales. Un schéma du dispositif est respectivement présenté à la Figure 1 et à la Figure 2 pour 2019 et 2020. En 2019, un modèle mixte a été appliqué avec PROC MIXED de SAS (version 9.4) pour l'analyse de variance.

3.4.1 Précisions pour la saison 2020

Il y a eu un problème d'uniformité dans plusieurs parcelles. Par conséquent, la méthode de récolte a dû être modifiée et la longueur récoltée n'est pas simplement attribuable au hasard. Toutes les combinaisons de traitement ont été observées au moins une fois dans une parcelle récoltée sur 8 m, mais la longueur des autres parcelles observées varie entre 2 et 6 m, selon la combinaison de traitements. Le nombre de répétitions total varie aussi selon les traitements (entre 2 et 4). Il s'agit donc d'un dispositif très déséquilibré.

Afin de d'examiner l'effet possible de la longueur de parcelle récoltée sur les variables de rendement, plusieurs analyses descriptives ont été réalisées : Graphique du rendement en fonction de la longueur, calcul des coefficients de Spearman entre les variables de rendement et la longueur de parcelle récoltée, nombres d'observations de chaque combinaison de traitements selon la longueur récoltée, statistiques descriptives pour le rendement vendable. Les valeurs de rendements observées sont en moyenne plus faibles pour la longueur de 8 m que pour les longueurs plus courtes. Comme la longueur de parcelle observée varie d'une combinaison de traitements à l'autre, il est difficile d'utiliser la longueur comme covariable dans le modèle d'anova. Les comparaisons des paires de traitements sont impossibles pour les longueurs qui ne sont pas communes aux deux traitements. Les analyses ont toutefois été effectuées sur les données de rendement calculées en fonction de la longueur récoltée.

Un modèle mixte a été appliqué avec PROC MIXED de SAS (version 9.4) pour l'analyse de variance. Ce modèle tient compte des effets fixes du traitement, du cultivar et de l'interaction traitement x cultivar, et des effets aléatoires des blocs et des grandes parcelles (interaction bloc x traitement). Les tests de t des comparaisons entre les traitements ont été ajustés par la méthode de Tukey-Kramer afin de réduire les risques de déclarer à tort des différences significatives (l'erreur de type I). Deux analyses de variance ont été effectuées pour les variables de rendements, soit une analyse pour les parcelles récoltées sur 8 m seulement et une autre qui tient compte de toutes les parcelles afin de vérifier si les conclusions des deux analyses sont consistantes.

Seul le traitement cultivar a un effet significatif. Les cultivars dont les proportions moyennes sont non nulles ont fait l'objet de tests de t des différences et les probabilités ont été ajustées par la méthode de Tukey-Kramer.

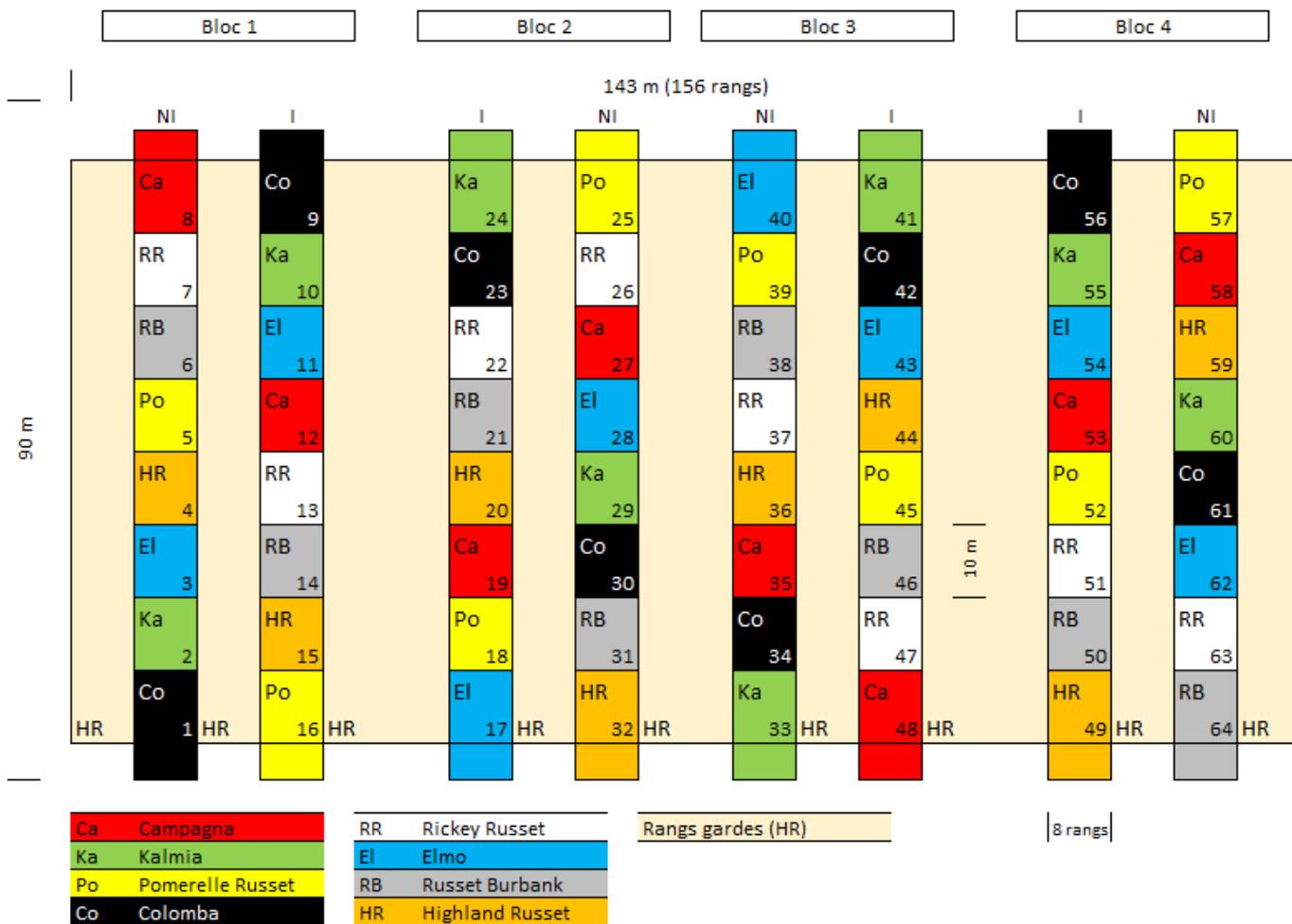


Figure 1. Schéma du dispositif expérimental – Saison 2019.

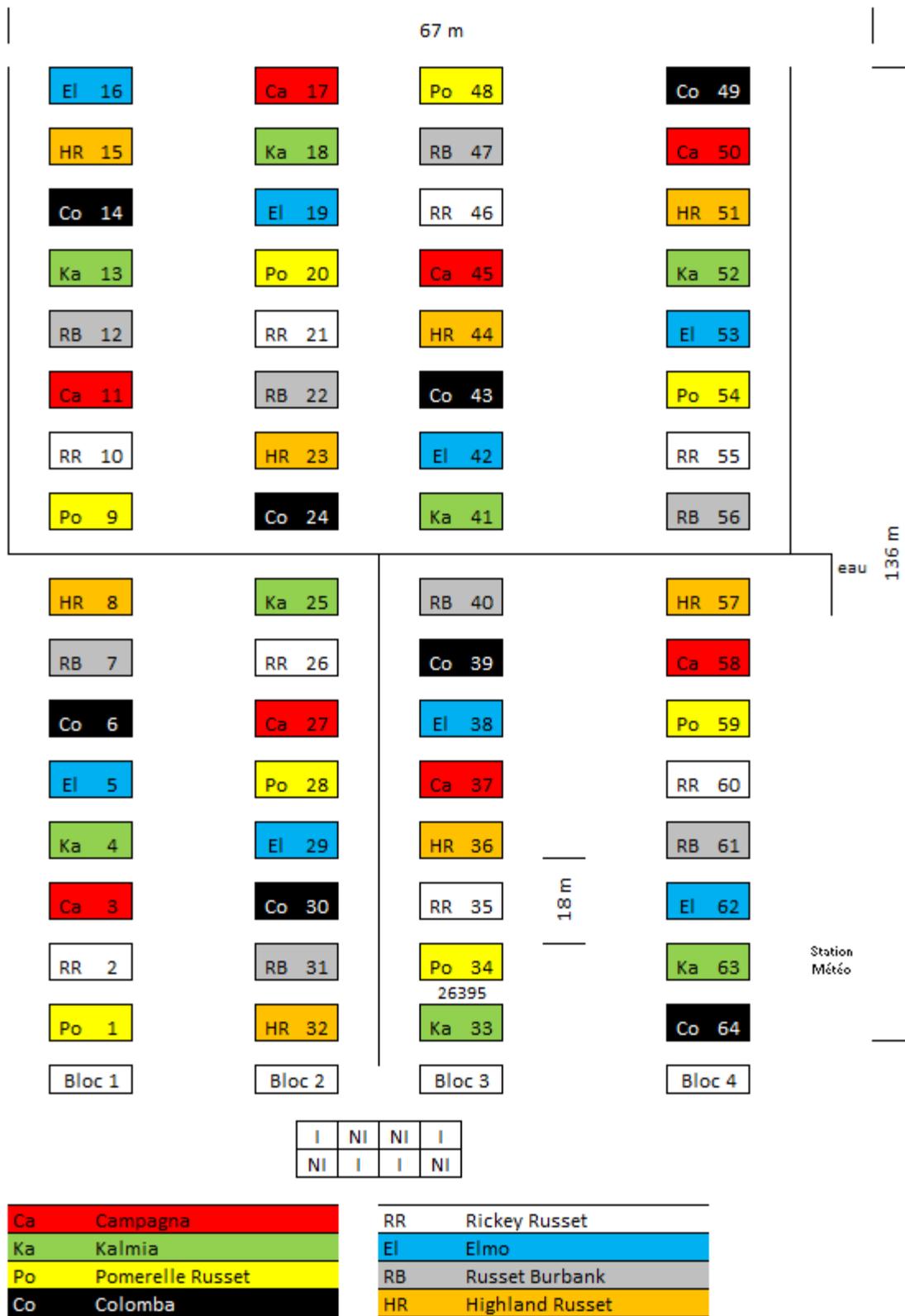


Figure 2. Schéma du dispositif expérimental – Saison 2020.

3.5 Collecte des données

3.5.1 Caractérisation du sol

Des carottes de sol ont été prélevées (0-20 cm) dans chacun des blocs afin d'obtenir un échantillon composite (1 par bloc) qui a été utilisé pour caractériser le site. Ceux-ci ont ensuite été tamisés à 2 mm puis séchés à l'air à 21 °C. Le pH_{eau} a été mesuré dans un rapport sol/eau 1:1 (CPVQ, 1988). La granulométrie a été déterminée par la méthode de l'hydromètre en six points, suivie d'un tamisage des sables (Gee et Bauder, 1986). La texture du sol a donc été déterminée grâce aux analyses granulométriques effectuées en laboratoire et du diagramme triangulaire des classes de texture de sols (AAC, 2002). Le contenu en matière organique totale a été calculé selon le contenu en Ctot, déterminé au LECO, avec un facteur de conversion de 1,724.

3.5.2 Conditions météorologiques et évapotranspiration potentielle

Une station météorologique a été installée à moins de 100 m du dispositif. La température et l'humidité relative de l'air (HC-S3, Rotronic), la radiation solaire (LI200S, Li-Cor), la vitesse et la direction du vent (05103, R.M. Young,) ainsi que la pluviométrie (TR-525M, Texas Electronics) ont pu être mesurées en continu et enregistrées par un acquiiseur de données (CR1000, Campbell Scientific) relié à modem cellulaire (IPn3Gb, Microhard Systems). Le calcul de l'évapotranspiration potentielle (ET_p) a été effectué à l'aide de la formule standardisée de Penman-Montheith (ASCE, 2005). Au même moment, un premier kit de suivi du statut hydrique du sol a été installé dans le dispositif.

3.5.3 Coefficients culturaux (K_c)

La variation quotidienne de la teneur en eau volumique dans les 30 premiers cm du sol, mesurée avec les sondes TDR, a été rapportée en mm d'eau. La valeur obtenue a pu être utilisée pour évaluer l'évapotranspiration de la culture (ET_{c-TDR}). Pour y parvenir, la valeur mesurée à 6 h a été soustraite de la valeur mesurée à 20 h, et ce, pour chacune des sondes TDR installées. Les valeurs issues de journées où il y a eu des précipitations et celles au lendemain de celles-ci ont été éliminées. Par la suite, ces prélèvements (ET_{c-TDR}) ont été mis en relation avec l'évapotranspiration potentielle quotidienne pour déterminer un coefficient cultural estimé (k_c) tel que décrit par Allen et coll. (1998).

$$k_c = \frac{ET_{c-TDR}}{ET_p}$$

3.5.4 Hauteur d'eau provenant des précipitations qui est potentiellement valorisable par la culture (HEPPVC)

La démarche repose sur l'exécution d'un bilan hydrique, sur une base quotidienne, pour chacun des cultivars. Deux valeurs de RFU ont été considérées, soit 15 et 30 mm. Les K_c utilisés pour convertir l' ET_p mesuré sur le site en ET_c , selon la période et le cultivar, sont ceux présentés au Tableau 4. Le bilan couvre la période comprise entre la plantation et la récolte. Au jour 1, la RFU a été considérée à sa valeur maximale. Toujours sur une base quotidienne, est soustraite à la valeur de la RFU, celle de l' ET_c ($ET_p \times K_c$) et est additionnée à la valeur de RFU, s'il y a lieu, la hauteur totale d'eau reçue provenant des précipitations, qui a été mesurée sur le site. La valeur de RFU ne

peut pas être négative ou excéder sa valeur maximale. Par exemple, si la valeur de RFU est de 20 mm au début d'une journée (pour RFU de 30 mm) et que des précipitations de 30 mm sont mesurées, la RFU est augmentée de 10 mm (pluie avec un potentiel valorisable) et les 20 mm restants sont considérés comme n'ayant aucun potentiel de valorisation, car ils excèdent la capacité de rétention de la RFU.

3.5.5 Développement des plants

Hebdomadairement, à partir de l'émergence, un suivi du développement des plants a été effectué en photographiant (vue du ciel) chacune des 64 unités expérimentales (Figure 25). Ces photographies ont été analysées avec un logiciel pour mesurer la proportion de couverture du feuillage au sol (ImageJ, NIH).

Le 19 juillet et le 15 août, toute la partie hors sol (fanés) de cinq plants consécutifs a été prélevée dans les 64 parcelles pour mesurer le développement des plants dans l'ensemble des parcelles. Ces plants ont été séchés à l'étuve à 105 °C pendant 48 heures pour en déterminer la teneur en matière sèche.

3.5.6 Récolte

En 2019, les deux cultivars les plus hâtifs (Colomba et Kalmia) ont été récoltés manuellement le 13 septembre et les 6 autres cultivars, le 30 septembre. Pour chacune des unités expérimentales, la récolte s'est effectuée sur deux rangs contigus, situés au centre de la parcelle. Les zones de récolte ont été mesurées à deux mètres du gicleur. À cette distance, la hauteur appliquée (selon le temps) et l'uniformité d'application en eau pour le gicleur utilisé sont connues (Boivin et coll., 2019). La récolte des tubercules a donc été faite sur 4 mètres par rang (2 m au nord du gicleur et 2 m au sud du gicleur), soit un total de 8 mètres linéaires par parcelle répartis sur 4 points de mesure. Par la suite, les pommes de terre ont été nettoyées et criblées pour déterminer le rendement selon le calibre de commercialisation (ACIA, 2015). La qualité des pommes de terre a été réalisée de manière qualitative en analysant un sous-échantillon de la récolte. Le poids spécifique a été mesuré à la récolte.

En 2020, l'ensemble des parcelles a été récolté le 28 septembre. La méthode décrite au paragraphe précédent a été respectée lorsque possible. Toutefois, comme mentionnée en 3.4.1, la longueur récoltée a été inférieure à 8 m dans plusieurs parcelles.

4 Résultats

4.1 Caractérisation du sol

Les résultats de la caractérisation du sol sont présentés selon le bloc au Tableau 2 pour la saison 2019 et au Tableau 3 pour la saison 2020.

Tableau 2. Caractérisation du sol en 2019.

| Bloc | pH eau | M.O. (%) | Détritus (%) | Fraction des sables (%) | | | | | Sable (%) | Limon (%) | Argile (%) | Texture |
|------|--------|----------|--------------|-------------------------|----|----|----|----|-----------|-----------|------------|---------------|
| | | | | TG | G | M | F | TF | | | | |
| 1 | 5,0 | 4,8 | 8,9 | 14 | 27 | 24 | 17 | 5 | 87 | 9 | 4 | Sable loameux |
| 2 | 5,4 | 4,3 | 9,1 | 16 | 27 | 23 | 16 | 5 | 88 | 6 | 6 | Sable loameux |
| 3 | 5,1 | 5,5 | 9,2 | 14 | 26 | 25 | 16 | 5 | 86 | 7 | 7 | Sable loameux |
| 4 | 5,1 | 4,6 | 10,1 | 17 | 26 | 23 | 16 | 5 | 87 | 10 | 3 | Sable loameux |

Tableau 3. Caractérisation du sol en 2020.

| Bloc | pH eau | M.O. (%) | Détritus (%) | Fraction des sables (%) | | | | | Sable (%) | Limon (%) | Argile (%) | Texture |
|------|--------|----------|--------------|-------------------------|----|----|----|----|-----------|-----------|------------|---------|
| | | | | TG | G | M | F | TF | | | | |
| 1 | 5,1 | 4,2 | 6,0 | 13 | 31 | 21 | 16 | 8 | 89 | 3 | 8 | Sable |
| 2 | 5,4 | 2,8 | 3,8 | 7 | 39 | 33 | 12 | 4 | 95 | 1 | 4 | Sable |
| 3 | 4,6 | 3,0 | 4,2 | 12 | 38 | 26 | 12 | 6 | 94 | 1 | 3 | Sable |
| 4 | 5,0 | 3,5 | 3,1 | 9 | 33 | 32 | 15 | 6 | 95 | 3 | 4 | Sable |

4.2 Précipitations

La pluviométrie sur une base quotidienne et cumulative est présentée à la Figure 3 pour une période comprise entre le 23 mai et le 30 septembre 2019 et à la Figure 4 pour une période comprise entre le 20 mai et le 27 septembre 2020.

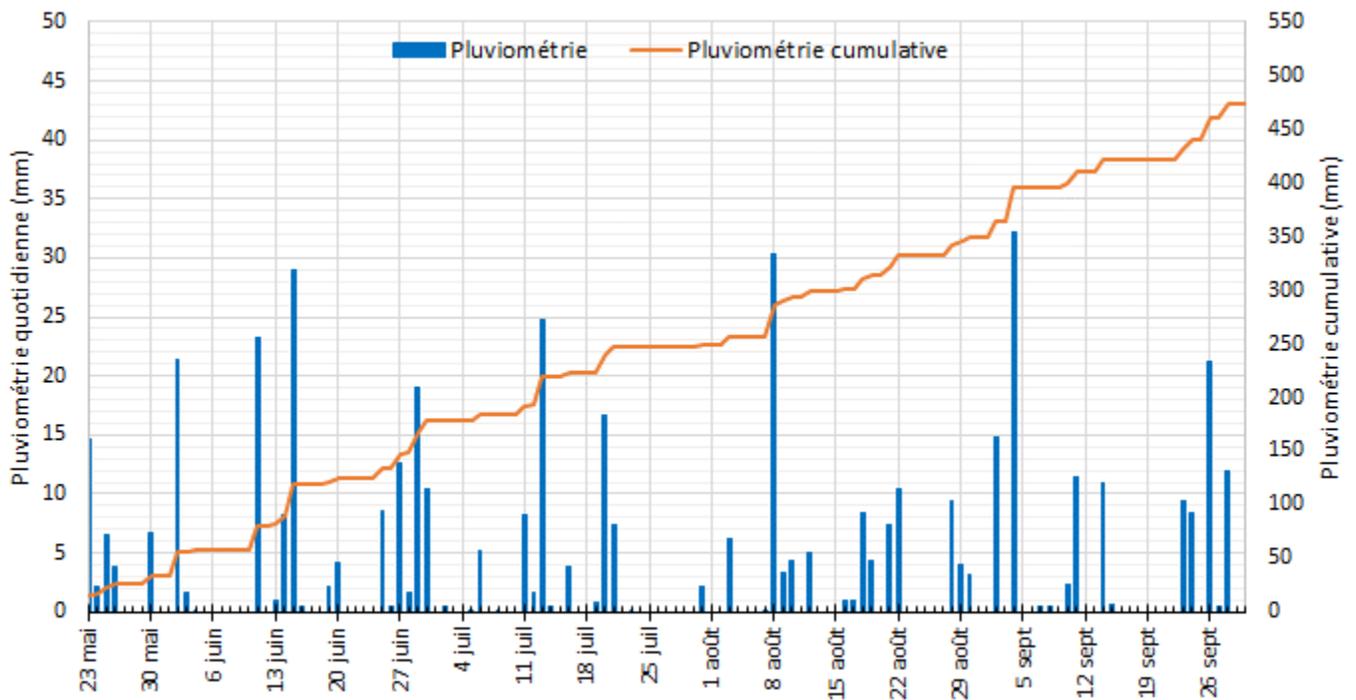


Figure 3. Pluviométrie quotidienne et cumulative (mm) du 23 mai au 30 septembre 2019.

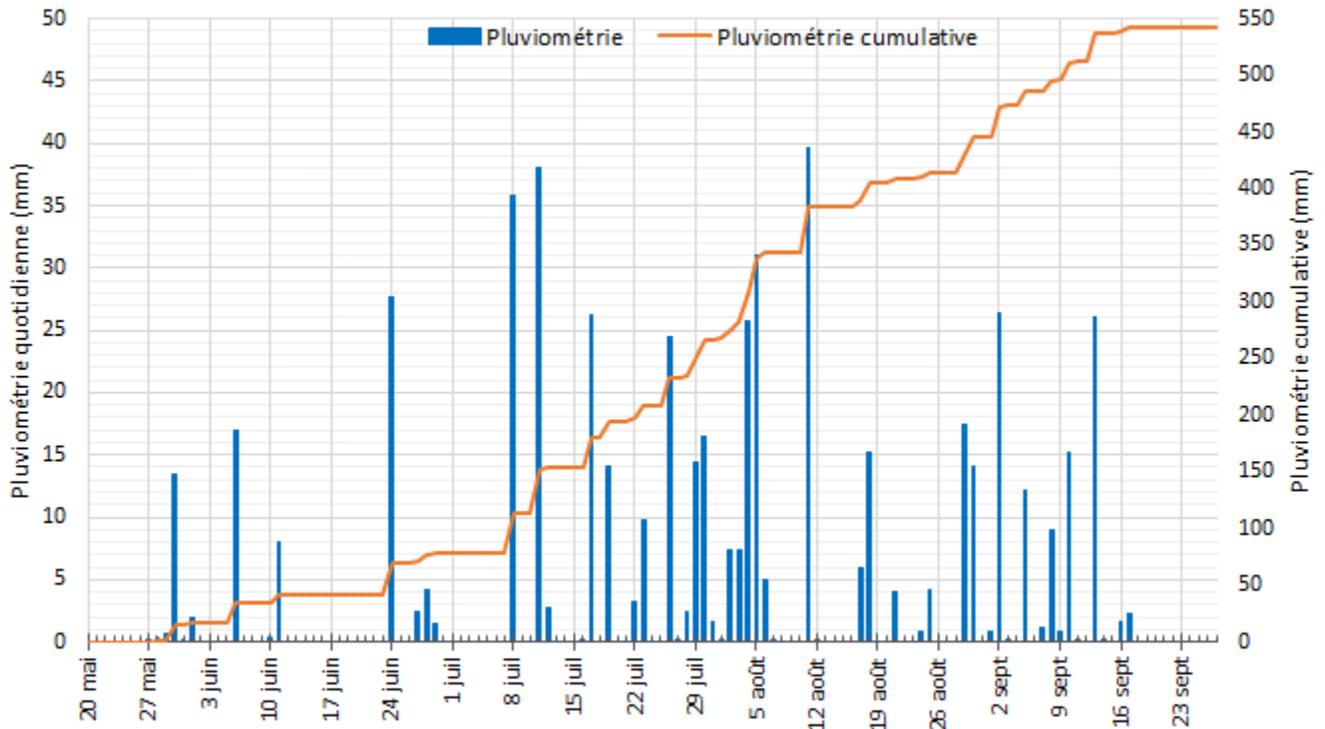


Figure 4. Pluviométrie quotidienne et cumulative (mm) du 20 mai au 28 septembre 2020.

4.3 Évapotranspiration, coefficients culturaux, RFU et stress hydrique

Le Tableau 4 présente des K_c pour chacun des cultivars selon 4 stades de développement. Ces stades représentent les périodes suivantes : entre la plantation et l'émergence (PL-ÉM), entre l'émergence et la floraison (ÉM-FLO), entre la floraison et la sénescence (FLO-SÉN) et entre la sénescence et la récolte (SÉN-RÉC). Le début et la fin de chacune des périodes et la durée en nombre de jours de ces dernières sont spécifiés pour chacun des cultivars. Selon le cultivar et pour un stade donné, la somme des ET_{c-TDR} quotidiennes est présentée. De plus, le cumul de l' ET_{c-TDR} , à un stade donné, est aussi présenté. Enfin, l'importance de l' ET_{c-TDR} pour une période donnée, selon le cultivar, est présentée en proportion de ce qu'elle représente par rapport à l' ET_{c-TDR} totale de la saison.

Par exemple, Pomerelle Russet a été au 4^e stade durant 32 jours, soit du 29 août au 30 septembre. Le K_c mesuré pour cette période a été de 0,50. Ce dernier a permis d'évaluer que l' ET_{c-TDR} de ce cultivar a été de 30,5 mm durant cette période. De la plantation jusqu'à la récolte (PL-RÉC), l' ET_{c-TDR} de ce cultivar a été de 230,4 mm. Enfin, cette période représente 13 % de l' ET_{c-TDR} totale pour la saison.

Tableau 4. Coefficients culturaux (K_c) et évapotranspiration de la culture (ET_{c-TDR}) selon le cultivar et la période où ce dernier a été dans un stade donné de développement – Saison 2019.

| Stades | Cultivars (avec irrigation) | Périodes | Durée | K_c | ET_{c-TDR} (mm) | | ET_{c-TDR} de la période/ ET_{c-TDR} totale (%) | |
|------------------|-----------------------------|-------------------|------------------|-------------------|-------------------|------------|---|-------|
| | | | | | Période | Cumulative | | |
| PL-ÉM | Colomba | 23 mai-17 juin | 25 | 0,20 | 16,7 | 16,7 | 8 | |
| | Elmo | | | | | | 7 | |
| | Kalmia | 23 mai-21 juin | 29 | | 22,5 | 22,5 | 8 | |
| | Campagna | | | | | | 8 | |
| | Highland Russet | | | | | | 9 | |
| | Russet Burbank | | | | | | 8 | |
| | Rickey Russet | | | | | | 7 | |
| | Pomerelle Russet | | | | | | 8 | |
| ÉM-FLO | Colomba | 18 juin-13 juill. | 25 | 0,53 | 59,0 | 75,8 | 27 | |
| | Elmo | 22 juin-13 juill. | 21 | 0,49 | 54,6 | 71,3 | 22 | |
| | Kalmia | | | 0,57 | 56,5 | 75,7 | 24 | |
| | Campagna | 22 juin-18 juill. | 26 | 0,61 | 73,4 | 92,6 | 29 | |
| | Highland Russet | | | 0,37 | 44,5 | 63,7 | 21 | |
| | Russet Burbank | | | 0,55 | 66,2 | 85,4 | 29 | |
| | Rickey Russet | | | 0,53 | 63,8 | 83,0 | 24 | |
| | Pomerelle Russet | | | 0,51 | 75,7 | 94,9 | 33 | |
| | Colomba | | | 14 juill.-17 août | 34 | 0,86 | 114,4 | 190,1 |
| Elmo | 1,07 | 142,3 | 213,6 | | | 56 | | |
| FLO-SÉN | Kalmia | 19 juill.-28 août | 40 | 0,94 | 125,0 | 200,7 | 53 | |
| | Campagna | | | 0,91 | 134,1 | 226,8 | 53 | |
| | Highland Russet | 0,77 | 113,5 | 177,2 | 54 | | | |
| | Russet Burbank | 0,82 | 120,9 | 206,3 | 53 | | | |
| | Rickey Russet | 1,06 | 156,2 | 239,2 | 59 | | | |
| | Pomerelle Russet | 26 juill.-28 août | 33 | 0,88 | 105,0 | 199,9 | 46 | |
| | SÉN-RÉC | Colomba | 18 août-13 sept. | 26 | 0,45 | 32,2 | 222,4 | 14 |
| | | Elmo | 18 août-30 sept. | 43 | 0,40 | 38,7 | 252,3 | 15 |
| Kalmia | | 18 août-13 sept. | 26 | 0,47 | 33,7 | 234,3 | 14 | |
| Campagna | | 29 août-30 sept. | 32 | 0,43 | 26,2 | 253,0 | 10 | |
| Highland Russet | | | | 0,53 | 32,3 | 209,6 | 15 | |
| Russet Burbank | | | | 0,36 | 22,0 | 228,2 | 10 | |
| Rickey Russet | | | | 0,44 | 26,8 | 266,1 | 10 | |
| Pomerelle Russet | | | | 0,50 | 30,5 | 230,4 | 13 | |

Le Tableau 5 informe d'abord sur le nombre de jours qui s'est écoulé entre la plantation et la récolte (PL-RÉC) pour chacun des cultivars. Toujours sur la base de cette période, la somme de l'évapotranspiration potentielle (ET_p) et celle de la culture (ET_{c-TDR}) et les précipitations totales sont ensuite présentées. Par exemple, il s'est écoulé 114 jours entre la plantation et la récolte pour Kalmia. Pour cette période, la station météorologique qui a été installée sur le site a mesuré une ET_p totale de 399,6 mm et avec l'aide des K_c spécifiques à ce cultivar (Tableau 4), selon le stade, l' ET_{c-TDR} pour ces 114 jours totalise 234,3 mm. Le site a reçu 410,4 mm de pluie, dont seulement 44 % ont eu le potentiel d'être valorisé par ce cultivar. Enfin, sans irrigation, mais avec la productivité qui aurait été obtenue avec celle-ci, la RFU aurait été épuisée durant 15 % du temps ou 17 jours.

Tableau 5. Évapotranspiration potentielle (ET_p) et de la culture (ET_{c-TDR}), précipitations totales et proportion potentiellement valorisable et hauteur d'eau à combler avec l'irrigation entre PL-RÉC selon le cultivar – Saison 2019.

| Cultivars | N ^{bre} jours (PL-RÉC) | ET_p (mm) | ET_{c-TDR} (mm) | Pluie totale (mm) | Pluie avec potentielle valorisable (%) | | Proportion des jours où RFU est à 0 (%) | | Écart à combler avec l'irrigation (mm) | |
|------------------|---------------------------------|-------------|-------------------|-------------------|--|-----------|---|-----------|--|-----------|
| | | | | | RFU 15 mm | RFU 30 mm | RFU 15 mm | RFU 30 mm | RFU 15 mm | RFU 30 mm |
| Kalmia | 114 | 399,6 | 234,3 | 410,4 | 44 | 49 | 15 | 8 | 53,6 | 31,2 |
| Colomba | | | 222,4 | | 44 | 48 | 11 | 7 | 43,5 | 23,5 |
| Elmo | 130 | 424,7 | 253,0 | 473,4 | 43 | 48 | 12 | 6 | 51,3 | 25,1 |
| Campagna | | | 230,4 | | 41 | 45 | 10 | 4 | 37,8 | 17,2 |
| Highland Russet | | | 252,3 | | 40 | 44 | 14 | 8 | 64,0 | 42,4 |
| Russet Burbank | | | 266,1 | | 43 | 49 | 15 | 8 | 63,9 | 35,5 |
| Rickey Russet | | | 228,3 | | 40 | 44 | 12 | 5 | 40,2 | 18,8 |
| Pomerelle Russet | | | 209,6 | | 38 | 41 | 8 | 4 | 30,7 | 15,7 |

La proportion des jours où la RFU a été de 0 mm (épuisée), présentés au Tableau 5, a été mise en relation avec l'évapotranspiration de la culture (ET_{c-TDR}) pour chacun des cultivars (Figure 5). Par exemple, le point le plus bas représente la relation entre l' ET_{c-TDR} de Highland Russet (209,6 mm) et la proportion du nombre de jours où la RFU a été de 0 (8,5 %). L'ensemble des points suggèrent que plus l' ET_{c-TDR} , pour un cultivar sans stress, est élevée, plus la proportion du nombre de jours où la RFU sera de 0 est élevée, pour un système cultural qui a une RFU de 15 mm.

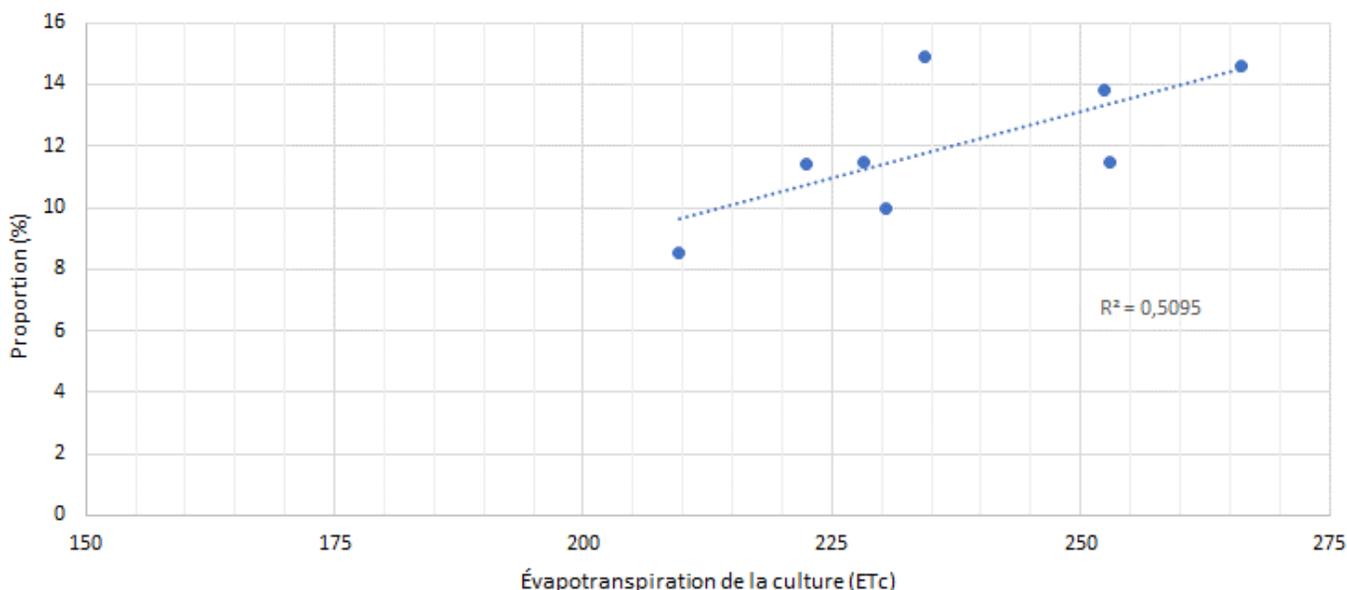


Figure 5. Proportion du nombre de jours où la RFU est épuisée durant la période PL-RÉC selon l' ET_{c-TDR} des 8 cultivars – Saison 2019.

À titre informatif, les conditions météorologiques mesurées ont été regroupées selon un intervalle donné d'ET_p pour une journée donnée (24 h) au Tableau 6. Ces conditions sont la température et l'humidité relative de l'air (moyenne 24 h), la vitesse du vent (moyenne 24 h), la radiation solaire (totale 24 h) et la présence de précipitation durant ces 24 h.

Par exemple, il y a eu 32 journées où l'ET_p a été d'environ 3 mm. Les conditions météorologiques qui peuvent décrire une telle journée sont les suivantes : température moyenne de l'air de 15,0 ° C. humidité relative moyenne de l'air de 77 %, des vents qui ont été en moyennes de 5,3 km/h, un total de 17 MJ/m² en ce qui a trait à la radiation solaire et la moitié de ces journées ont reçu des précipitations.

Tableau 6. Conditions météorologiques mesurées pour une valeur d'ET_p quotidienne donnée – Saison 2019.

| ET _p quotidienne (mm) | | N ^{bre} de jours | Air | | Vitesse vent (km/h)* | Radiation solaire (MJ/m ²)** | Proportion jours avec précipitations (%) |
|----------------------------------|---------|---------------------------------|------------------------|---------------------------|----------------------------|--|--|
| Valeur et intervalle | Moyenne | | Température * (° C) | Humidité relative* (%) | | | |
| < 0,5 | 0,4 | 4 | 12,3 | 95 | 4,0 | 2 | 100 |
| 1 : [0,5 à 1,5[| 1,0 | 13 | 14,0 | 87 | 5,5 | 5 | 77 |
| 2 : [1,5 à 2,5[| 2,0 | 17 | 14,2 | 82 | 5,5 | 12 | 71 |
| 3 : [2,5 à 3,5[| 2,9 | 32 | 15,0 | 77 | 5,3 | 17 | 52 |
| 4 : [3,5 à 4,5[| 3,9 | 23 | 17,4 | 73 | 5,0 | 21 | 17 |
| 5 : [4,5 à 5,5[| 5,1 | 16 | 19,1 | 68 | 5,7 | 26 | 19 |
| 6 : [5,5 à 6,5[| 5,9 | 14 | 19,0 | 56 | 7,1 | 29 | 7 |

* Moyenne 24 h. ** Totale 24 h.

L'évapotranspiration potentielle de la culture (ET_{c-TDR}) est présentée sur une base quotidienne pour chacun des cultivars du groupe « Russet » et comparée à l'évapotranspiration potentielle (ET_p) pour une période propice au stress hydrique (24 et 30 juillet 2019) en contextes non irrigué (Figure 6) et irrigué (Figure 7). Le même exercice a été effectué pour les autres cultivars, en contexte non irrigué (Figure 8) et irrigué (Figure 9).

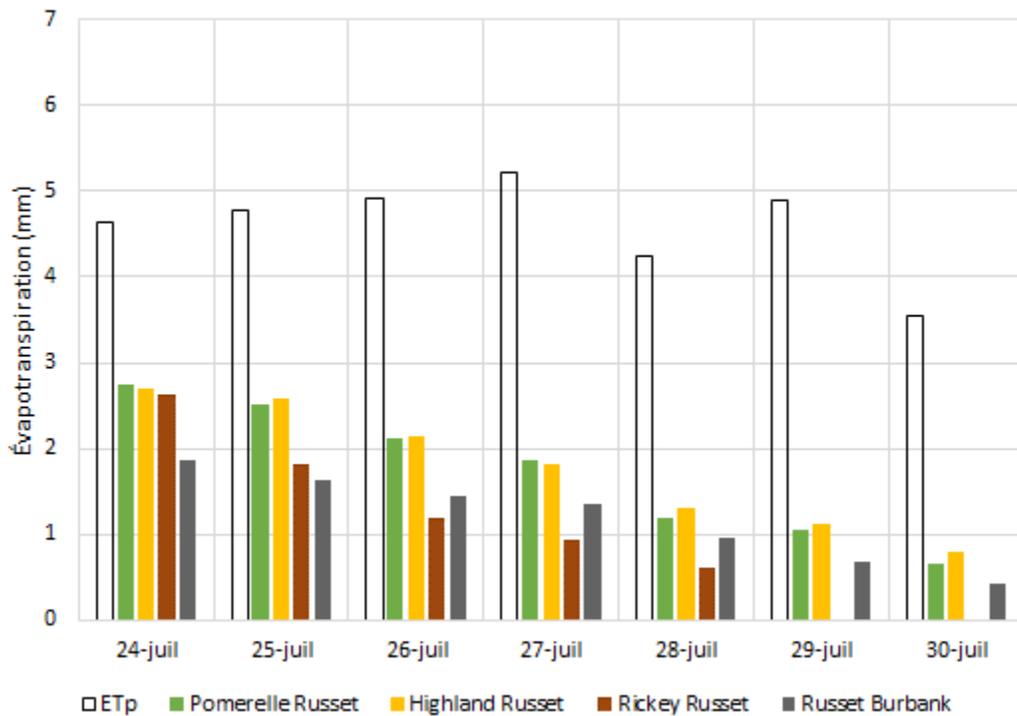


Figure 6. Évapotranspiration potentielle (ET_p) et évapotranspiration de la culture (ET_{c-TDR}) sur une base quotidienne selon le cultivar « Groupe Russet » – Sans irrigation, saison 2019.

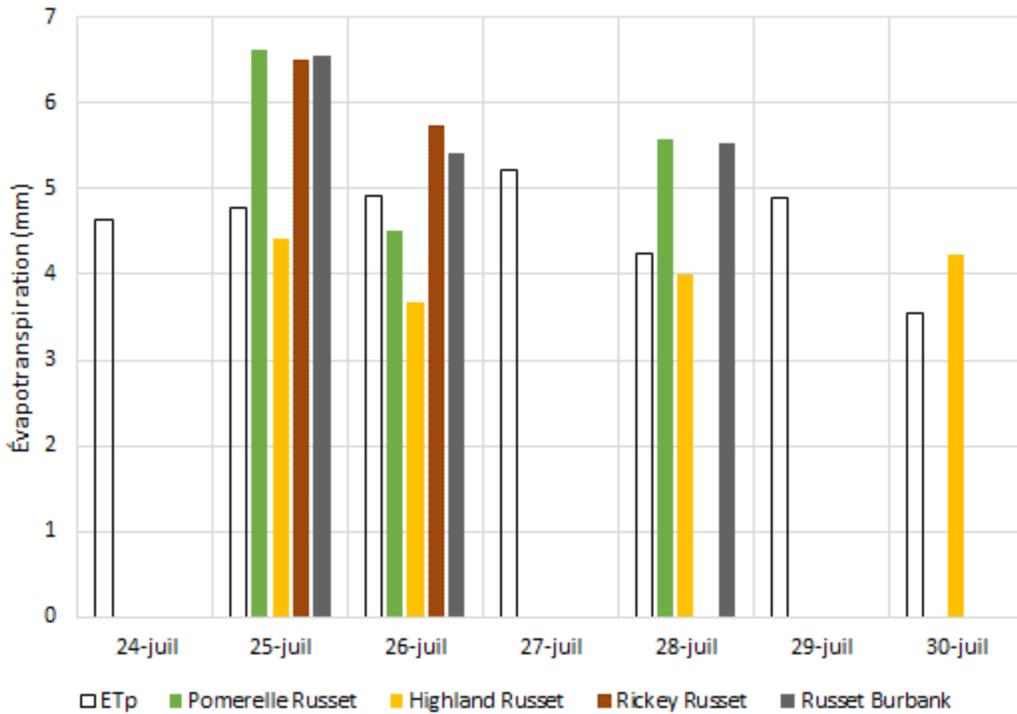


Figure 7. Évapotranspiration potentielle (ET_p) et évapotranspiration de la culture (ET_{c-TDR}) sur une base quotidienne selon le cultivar « Groupe Russet » – Avec irrigation, saison 2019.

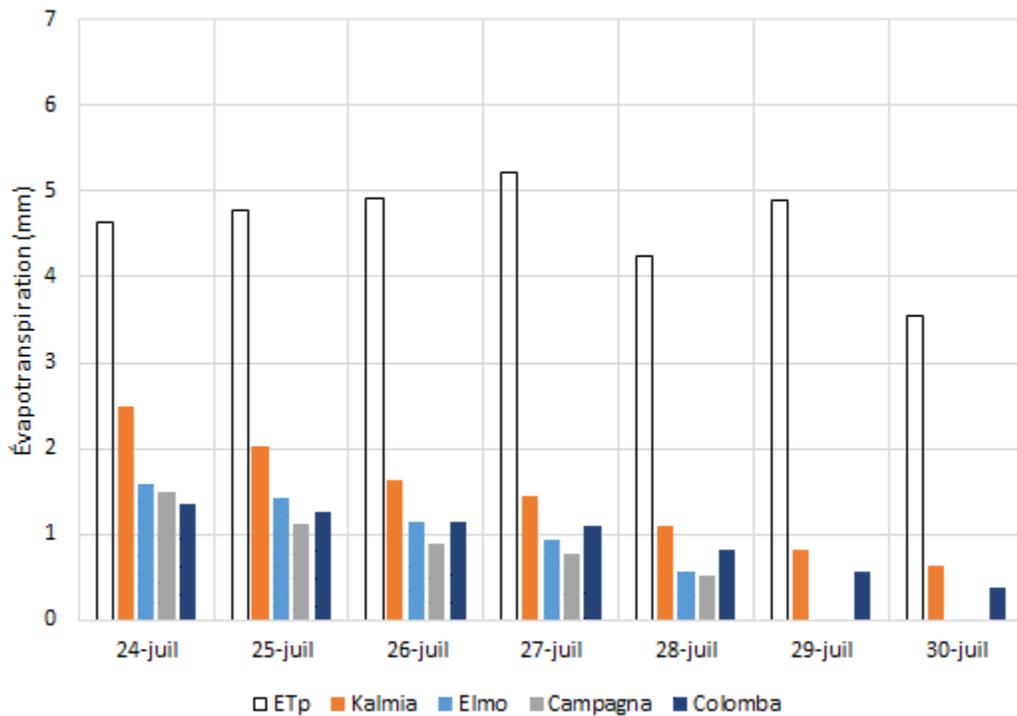


Figure 8. Évapotranspiration potentielle (ET_p) et évapotranspiration de la culture (ET_{c-TDR}) sur une base quotidienne selon le cultivar – Sans irrigation, saison 2019.

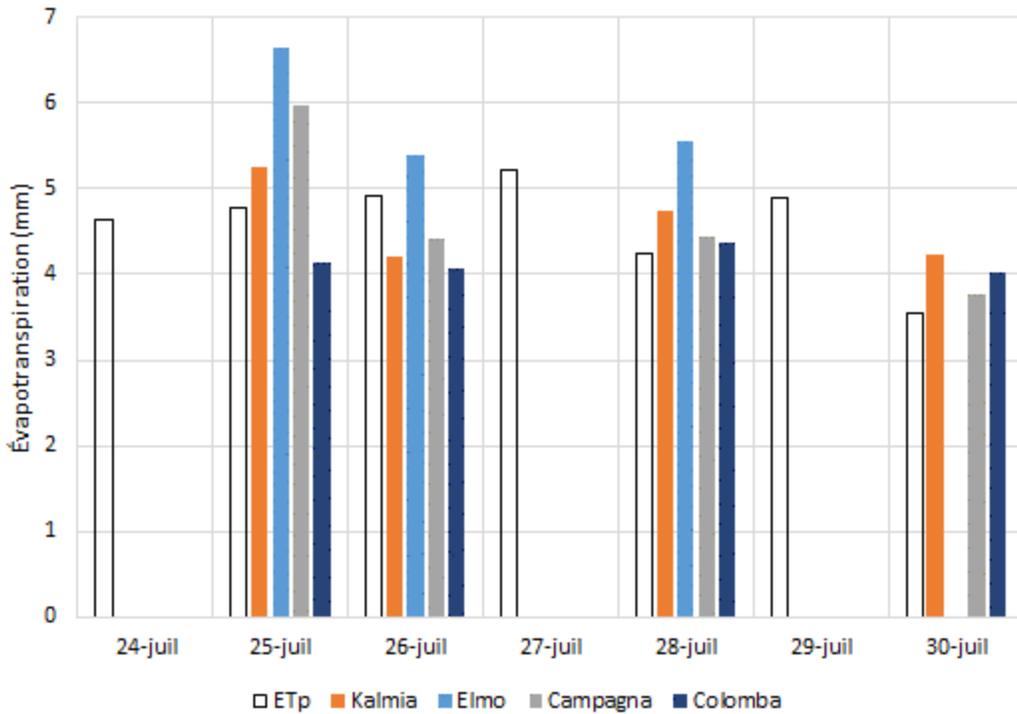


Figure 9. Évapotranspiration potentielle (ET_p) et évapotranspiration de la culture (ET_{c-TDR}) sur une base quotidienne selon le cultivar – Avec irrigation, saison 2019.

4.4 Nombre d'épisodes d'irrigation

L'apport total d'eau conséquente aux 10 épisodes d'irrigation effectuée en 2019 a été de 155 mm (Tableau 7). Toutefois, l'efficacité des épisodes du 5 et du 18 juillet, ainsi que ceux du 15 et du 28 août a été diminuée par des précipitations qui ont eu lieu le lendemain, dans les jours qui ont suivi l'apport où même durant l'apport. De plus, un problème de communication a occasionné une surirrigation le 2 août où la hauteur d'eau appliquée a été plus de deux fois la hauteur prévue. Ainsi, 57 mm ont été « retirés » de l'apport brut. Conséquemment, la contribution potentielle de l'irrigation a été plus près de 100 mm. En 2020, une hauteur d'eau de 16 mm provenant des irrigations a été jugée inefficace à cause des précipitations « post irrigation ».

Tableau 7. Hauteur d'eau appliquée par épisode d'irrigation selon la date de l'apport – Saison 2019.

| Date | Hauteur « Brute » (mm) | Volume (m ³ /ha) | Hauteur « jugée inefficace » (mm) | Hauteur jugée « valorisable » (mm) |
|------------|------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|
| 5 juillet | 15,3 | 153 | - 5 | 10,3 |
| 8 juillet | 15,3 | 153 | | 15,3 |
| 18 juillet | 17,0 | 170 | - 17 | 0 |
| 24 juillet | 14,3 | 143 | | 14,3 |
| 27 juillet | 11,5 | 115 | | 11,5 |
| 29 juillet | 14,3 | 143 | | 14,3 |
| 2 août | 36,7 | 367 | - 22 | 14,7 |
| 15 août | 14,8 | 148 | - 5 | 9,8 |
| 26 août | 8,3 | 83 | | 8,3 |
| 28 août | 7,9 | 79 | - 7,9 | 0 |
| Cumulatif | 155,4 | 1554 | -56,9 | 98,5 |

Tableau 8. Hauteur d'eau appliquée par épisode d'irrigation selon la date de l'apport – Saison 2020.

| Date | Hauteur « Brute » (mm) | Volume (m ³ /ha) | Hauteur « jugée inefficace » (mm) | Hauteur jugée « valorisable » (mm) |
|------------|------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|
| 19 juin | 5,0 | 50 | | 5,0 |
| 22 juin | 5,0 | 50 | | 5,0 |
| 2 juillet | 18,7 | 187 | | 18,7 |
| 7 juillet | 12,0 | 120 | -8 | 4,0 |
| 16 juillet | 7,0 | 70 | -4 | 3,0 |
| 24 juillet | 13,3 | 133 | -4 | 9,0 |
| Cumulatif | 61,0 | 610 | -16 | 44,7 |

4.5 Recouvrement du couvert végétal

En contexte irrigué et pour le groupe des « Russet », Russet Burbank, Rickey Russet et Highland Russet sont tout près du 100 % de recouvrement dès le début août, alors qu'il faut attendre jusqu'à la mi-août pour que Pomerelle Russet atteigne ce plateau (Figure 10). Pour ce même groupe, mais en contexte non irrigué, ces cultivars accusent un retard, par rapport à ceux irrigués, qui est visible à partir du 8 juillet (Figure 11). De plus, ces derniers n'atteindront jamais 100 % de couverture. Mêmes constants pour le groupe composé de Elmo, Campagna, Colomba et Kalmia, en contexte irrigué (Figure 12) et non irrigué (Figure 13).

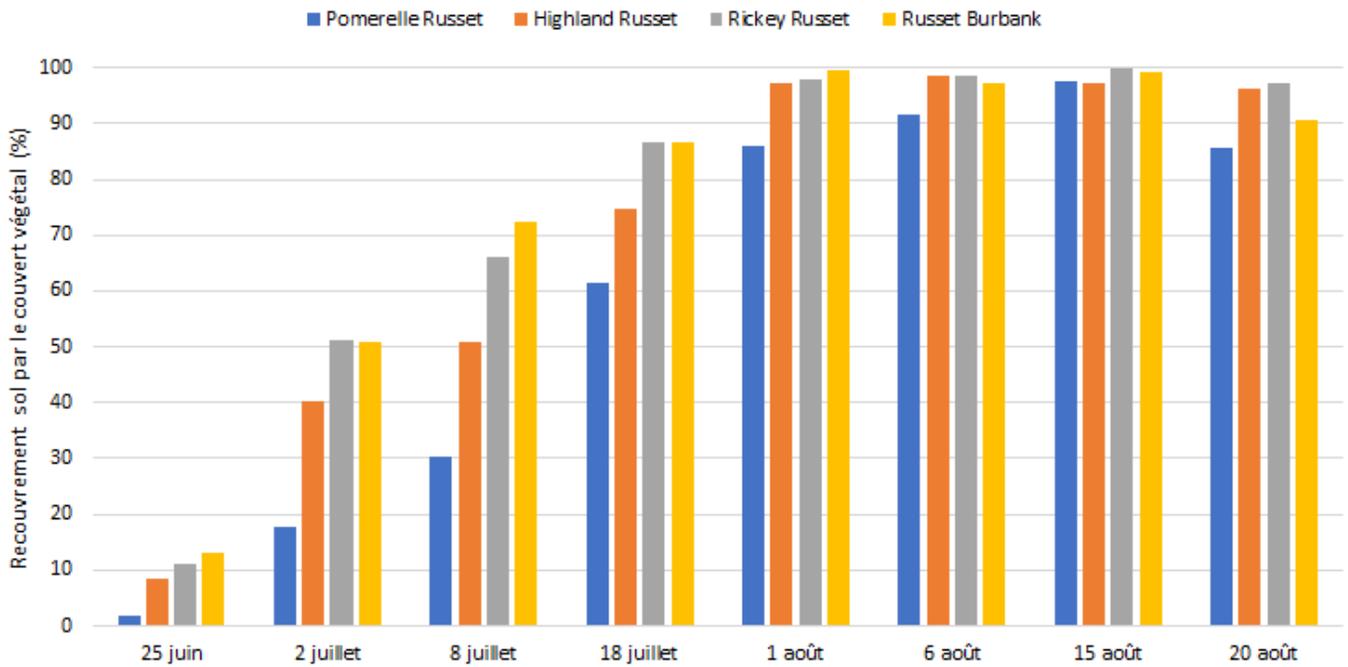


Figure 10. Proportion de la surface du sol recouvert par le couvert végétal selon la date et le cultivar « Groupe Russet » - Avec irrigation, saison 2019.

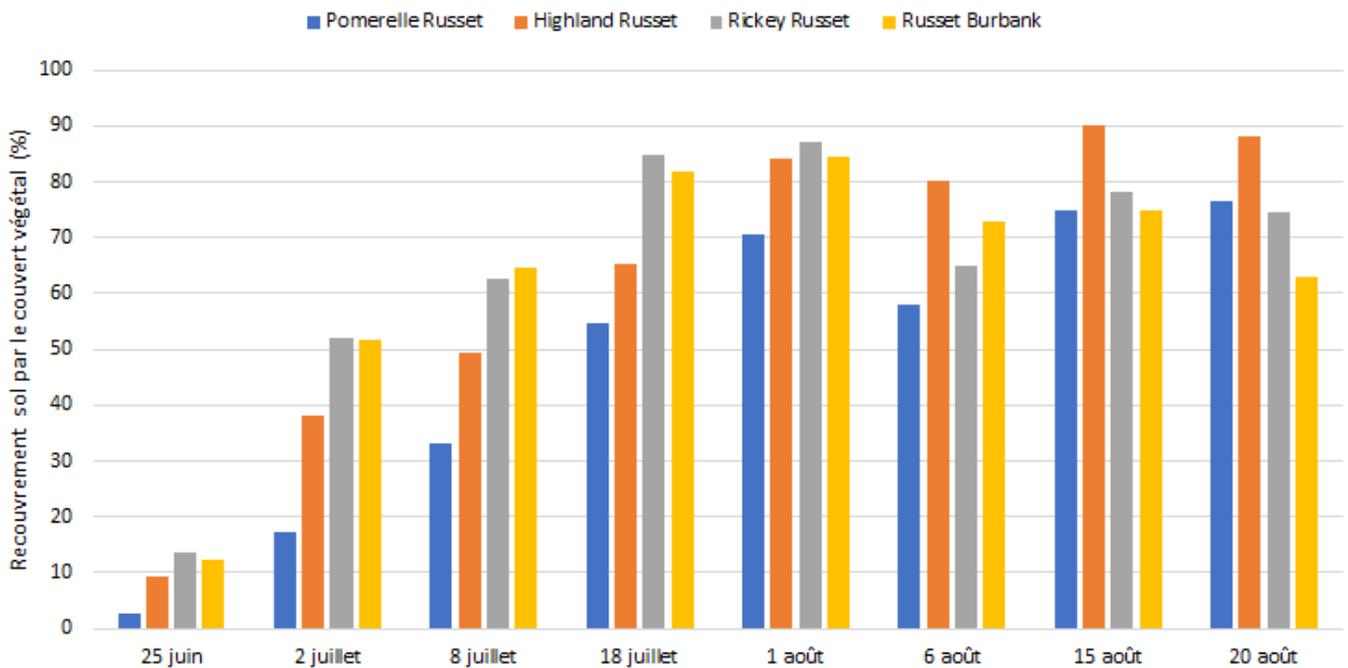


Figure 11. Proportion de la surface du sol recouvert par le couvert végétal selon la date et le cultivar « Groupe Russet » - Sans irrigation, saison 2019.

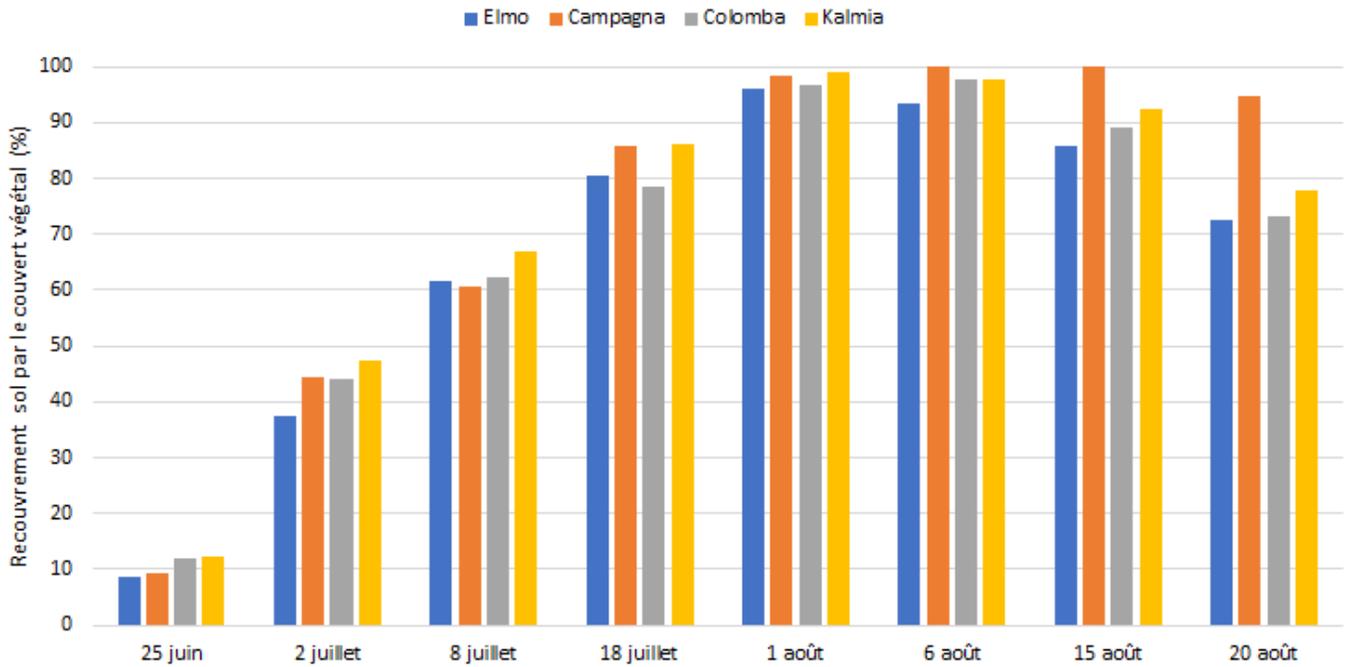


Figure 12. Proportion de la surface du sol recouvert par le couvert végétal selon la date et le cultivar - Avec irrigation, saison 2019.

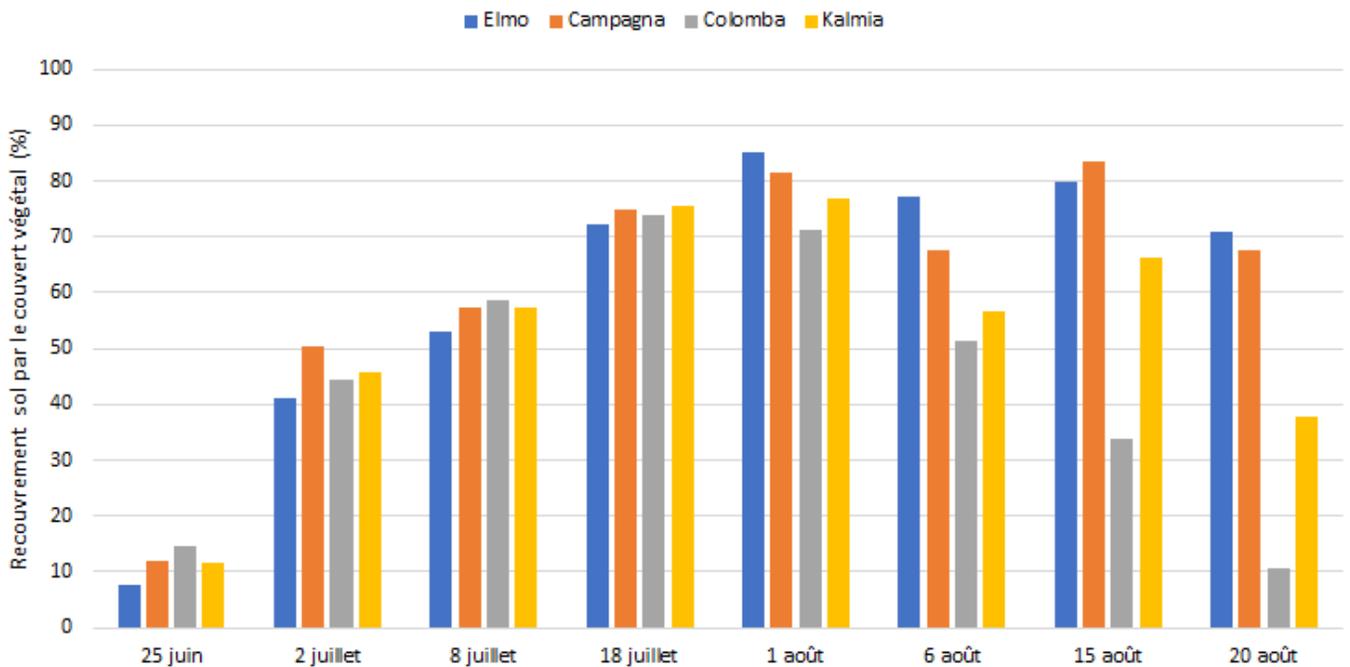


Figure 13. Proportion de la surface du sol recouvert par le couvert végétal selon la date et le cultivar - Sans irrigation, saison 2019.

4.6 Poids en matière sèche des parties aérienne

En 2019, l'irrigation (I) et le cultivar (C) ont eu un effet significatif sur le poids en matières sèches des parties aériennes des plants de pommes de terre et cet effet a été mesuré au 18 juillet et au 15 août (Tableau 9). De plus, l'interaction entre l'irrigation et le cultivar (I x C) a elle aussi eu un effet significatif, mais seulement au 15 août.

Tableau 9. Poids en matières sèches des parties aériennes des plants de pommes de terre au 18 juillet et au 15 août 2019.

| Variables | Effet | dl. | Valeur de F 2019 | Pr > F 2019 |
|--|----------------|-----|---------------------|----------------|
| Poids matières sèches parties aériennes (g) au 18 juillet | Irrigation (I) | 1 | 6,37 | 0,0450 |
| | Cultivar (C) | 7 | 23,75 | <,0001 |
| | I x C | 7 | 1,52 | 0,1866 |
| Poids matières sèches parties aériennes (g) au 15 août | Irrigation (I) | 1 | 173,45 | <,0001 |
| | Cultivar (C) | 7 | 28,41 | <,0001 |
| | I x C | 7 | 2,20 | 0,0525 |

Au 18 juillet, sans égard au cultivar, l'irrigation a un effet significatif sur le poids en matière sèche. À cette date, cet effet semble concentré dans le groupe des « Russet » (Figure 12). Quoi qu'il en soit l'interaction I x C n'étant pas significatif, il est impossible de poursuivre la réflexion sur l'effet de l'irrigation selon le cultivar. Maintenant, au 15 août, le développement des parties aériennes des plants est supérieur, et ce, pour l'ensemble des cultivars, lorsqu'ils sont irrigués (Figure 13).

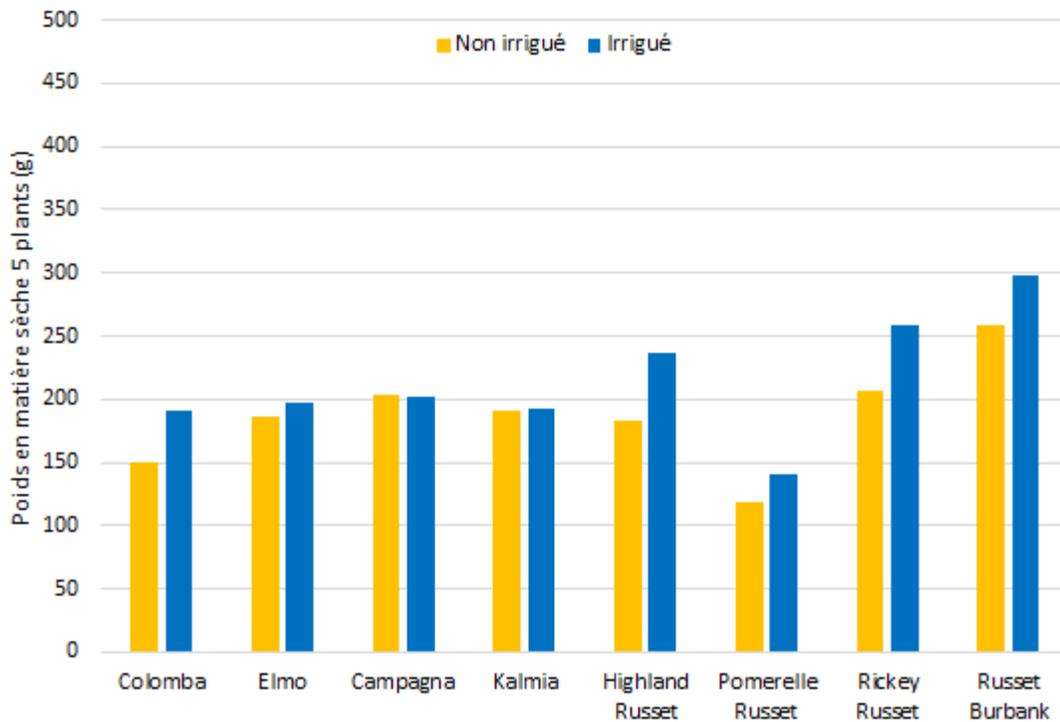


Figure 14. Poids en matières sèches des parties aériennes des plants de pommes de terre au 18 juillet 2019.

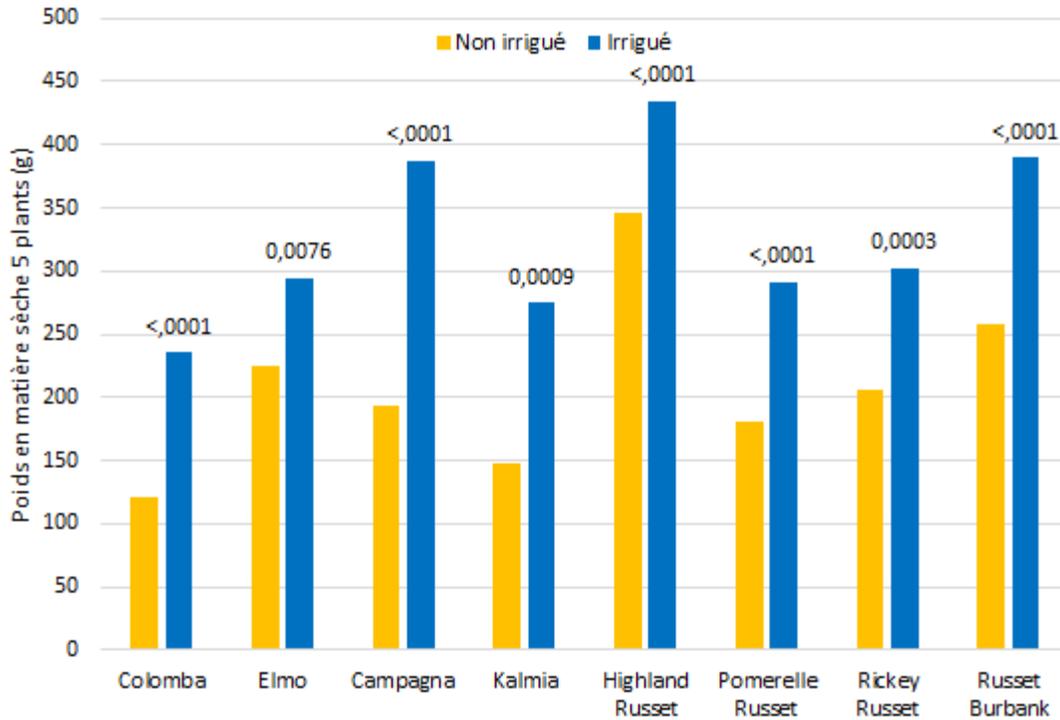


Figure 15. Poids en matières sèches des parties aériennes des plants de pommes de terre au 15 août 2019.

4.7 Rendements

En 2019, l'irrigation (I) et le cultivar (C) ont eu un effet significatif sur le rendement total, le rendement vendable, le poids moyen des tubercules (rendement total) et le poids spécifique de ces derniers (Tableau 10). De plus, l'interaction entre l'irrigation et le cultivar (I x C) a elle aussi eu un effet significatif sur ces 4 variables présentées au tableau suivant. En ce qui a trait au nombre de tubercules par plant, seul le cultivar a eu un effet significatif. Autrement dit, la différence mesurée pour le poids moyen des tubercules est attribuable au cultivar et non à l'irrigation.

En 2020, seul le cultivar a eu un effet significatif sur le rendement total, le rendement vendable, le nombre de tubercules par plant, le poids moyen des tubercules (rendement total) et le poids spécifique de ces derniers.

Tableau 10. Analyse de la variance des variables ayant trait au rendement (2019 et 2020).

| Variabes | Effet | dl. | Valeur de F 2019 | Pr > F 2019 | Valeur de F 2020 | Pr > F 2020 |
|--|----------------|-----|---------------------|----------------|---------------------|----------------|
| Rendement total (t/ha) | Irrigation (I) | 1 | 31,76 | 0,0111 | 0,49 | 0,5394 |
| | Cultivar (C) | 7 | 4,80 | 0,0005 | 4,80 | 0,0009 |
| | I x C | 7 | 2,91 | 0,0141 | 1,25 | 0,3042 |
| Rendement vendable (t/ha) | Irrigation (I) | 1 | 38,60 | 0,0084 | 0,32 | 0,6160 |
| | Cultivar (C) | 7 | 6,71 | <.0001 | 5,58 | 0,0003 |
| | I x C | 7 | 3,33 | 0,0066 | 1,35 | 0,2603 |
| Nombre total de tubercules/plant | Irrigation (I) | 1 | 0,02 | 0,8844 | 2,25 | 0,2720 |
| | Cultivar (C) | 7 | 29,94 | <.0001 | 6,46 | 0,0006 |
| | I x C | 7 | 0,57 | 0,7792 | 0,73 | 0,6504 |
| Poids moyen des tubercules (rdt total) | Irrigation (I) | 1 | 65,44 | 0,0039 | 0,31 | 0,6162 |
| | Cultivar (C) | 7 | 95,94 | <.0001 | 5,59 | 0,0003 |
| | I x C | 7 | 4,78 | 0,0005 | 1,35 | 0,2596 |
| Poids spécifique tubercules à la récolte | Irrigation (I) | 1 | 151,40 | <.0001 | 0,25 | 0,6197 |
| | Cultivar (C) | 7 | 81,98 | <.0001 | 41,91 | <.0001 |
| | I x C | 7 | 6,28 | <.0001 | 0,55 | 0,7882 |

Hormis pour Elmo et Highland Russet, le rendement total a été significativement supérieur avec l'irrigation pour les six autres cultivars en 2019. L'irrigation n'a eu aucun effet significatif sur le nombre de tubercules. À part pour Elmo, le poids moyen des tubercules a été significativement plus élevé avec l'irrigation. À l'exception de Colomba, le poids spécifique des tubercules à la récolte a été significativement supérieur avec l'irrigation pour les cultivars à l'étude.

Par exemple, Colomba a eu un rendement total, rapporté en t/ha, en 2019 de 48,6 lorsqu'irrigué et de 30,6 en absence d'irrigation. Le rendement vendable a respectivement été de 46,7 et 26,3 t/ha avec et sans irrigation. Le nombre moyen de tubercules par plant a été semblable (13,0 et 12,4), alors que le poids moyen a été supérieur avec l'irrigation, soit 106 g comparativement à 69 g avec le témoin sans irrigation. Enfin, le poids spécifique a été comparable avec ou sans irrigation, respectivement 1,0640 et 1,0628. Aucune différence significative n'a été observée en 2020 et des précisions à ce sujet sont apportées en 3.4.1.

Tableau 11. Rendements total et vendable rapportés en t/ha et nombre total de tubercules par plant, ainsi que le poids moyen (g) et poids spécifique de ces derniers au moment de la récolte.

| Cultivars | Traitements | Rendement (t/ha) | | | | Tubercules (rdt total) | | | | | |
|------------------|-------------|------------------|------|----------|------|------------------------|------|-----------------|------|------------------|--------|
| | | Total | | Vendable | | Nbre/plant | | Poids moyen (g) | | Poids spécifique | |
| | | 2019 | 2020 | 2019 | 2020 | 2019 | 2020 | 2019 | 2020 | 2019 | 2020 |
| Colomba | I | 48,6 | 67,1 | 46,7 | 63,5 | 13,0 | 19,6 | 106 | 126 | 1,0640 | 1,0567 |
| | NI | 30,6 | 57,6 | 26,3 | 55,3 | 12,4 | 18,1 | 69 | 138 | 1,0628 | 1,0578 |
| Valeur de p | | 0,0003 | | <,0001 | | 0,5815 | | <,0001 | | 0,5393 | |
| Elmo | I | 47,2 | 49,9 | 45,6 | 49,0 | 11,4 | 18,7 | 119 | 186 | 1,0645 | 1,0641 |
| | NI | 47,6 | 62,4 | 45,6 | 61,5 | 11,9 | 15,4 | 108 | 214 | 1,0612 | 1,0642 |
| Valeur de p | | 0,9322 | | 0,9909 | | 0,7024 | | 0,1494 | | 0,0891 | |
| Campagna | I | 56,4 | 59,2 | 55,1 | 58,5 | 13,3 | 12,4 | 130 | 272 | 1,0794 | 1,0626 |
| | NI | 43,9 | 49,8 | 41,6 | 42,8 | 13,1 | 8,5 | 100 | 263 | 1,0668 | 1,0686 |
| Valeur de p | | 0,0076 | | 0,0041 | | 0,8484 | | 0,0003 | | <,0001 | |
| Kalmia | I | 53,6 | 61,6 | 52,2 | 59,2 | 8,7 | 8,8 | 153 | 218 | 1,0741 | 1,0643 |
| | NI | 34,3 | 62,8 | 32,5 | 62,2 | 8,8 | 10,5 | 96 | 274 | 1,0681 | 1,0609 |
| Valeur de p | | 0,0001 | | <,0001 | | 0,9154 | | <,0001 | | 0,0026 | |
| Highland Russet | I | 48,8 | 53,4 | 48,1 | 52,4 | 10,3 | 10,3 | 150 | 218 | 1,0917 | 1,0821 |
| | NI | 42,4 | 43,1 | 41,0 | 42,2 | 11,6 | 9,8 | 116 | 195 | 1,0789 | 1,0808 |
| Valeur de p | | 0,1490 | | 0,1164 | | 0,2555 | | <,0001 | | <,0001 | |
| Pomerelle Russet | I | 42,2 | 44,8 | 41,8 | 43,4 | 5,6 | 9,0 | 186 | 255 | 1,0812 | 1,0727 |
| | NI | 34,8 | 41,5 | 34,0 | 40,3 | 6,1 | 8,5 | 147 | 265 | 1,0734 | 1,0711 |
| Valeur de p | | 0,1009 | | 0,0827 | | 0,6713 | | <,0001 | | 0,0002 | |
| Rickey Russet | I | 51,7 | 40,8 | 49,1 | 38,6 | 13,9 | 10,8 | 105 | 107 | 1,0850 | 1,0720 |
| | NI | 35,3 | 43,3 | 31,3 | 41,0 | 12,8 | 11,1 | 78 | 119 | 1,0771 | 1,0743 |
| Valeur de p | | 0,0008 | | 0,0003 | | 0,3527 | | 0,0008 | | <,0001 | |
| Burbank | I | 46,0 | 44,4 | 41,7 | 39,6 | 16,5 | 17,5 | 89 | 125 | 1,0906 | 1,0757 |
| | NI | 29,1 | 44,2 | 23,0 | 40,4 | 15,4 | 11,6 | 61 | 155 | 1,0761 | 1,0767 |
| Valeur de p | | 0,0006 | | 0,0002 | | 0,3637 | | 0,0007 | | <,0001 | |

Le poids moyen des tubercules selon leur nombre total par plant lors de la récolte est présenté à la Figure 16 pour les 32 parcelles avec irrigation et à la Figure 17 pour les 32 parcelles non irriguées. Déjà au Tableau 11, il est possible de constater que le cultivar avec le moins de tubercules par plant est Pomerelle Russet, alors que celui qui en a le plus est Russet Burbank. Qu'il soit irrigué ou non le nombre de tubercules n'est pas différent, mais l'irrigation a eu un effet significatif sur le poids moyen, hormis pour Elmo. Cela explique le gain en rendement.

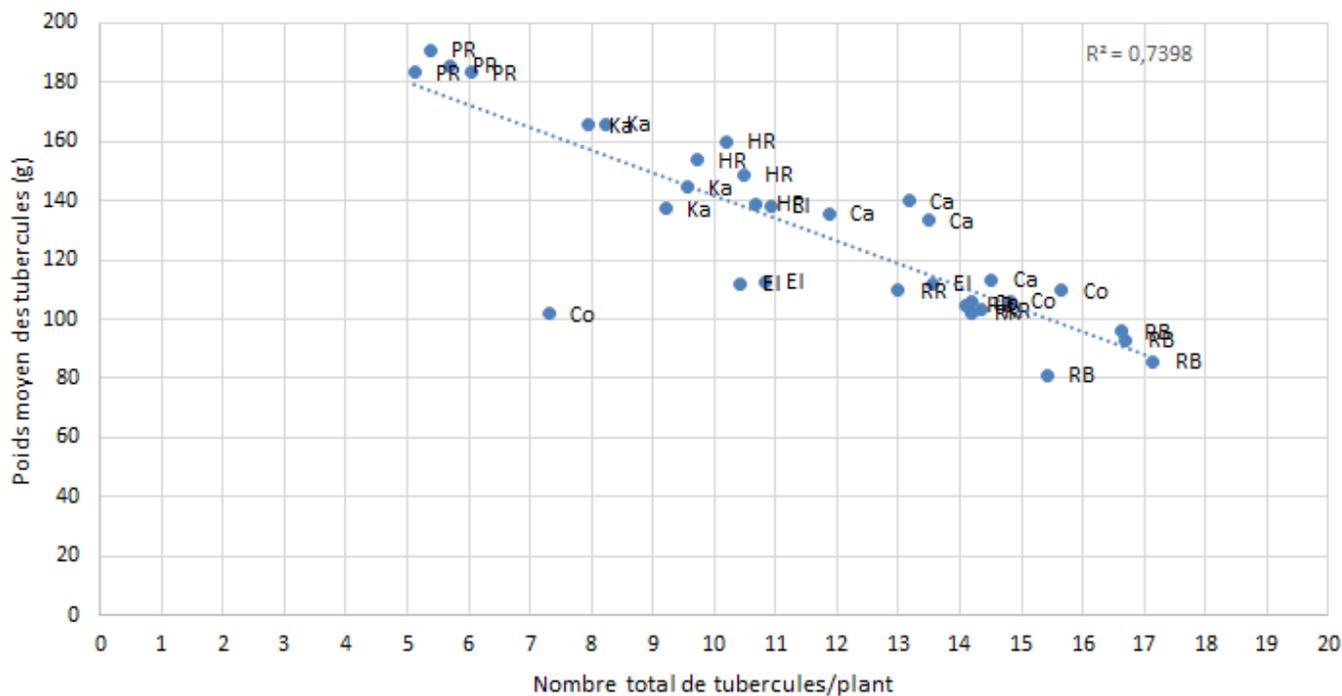


Figure 17. Poids moyen des tubercules (g) selon leur nombre total par plant lors de la récolte 2019 – Sans irrigation.

Le poids moyen des tubercules, lors de la récolte de 2019, selon le gain ou la perte en matière sèche des parties aériennes, lors de la 2^e mesure de la saison effectuée le 18 août, est présenté à la Figure 18, pour les 32 parcelles irriguées et à la Figure 19, pour les 32 parcelles non irriguées.

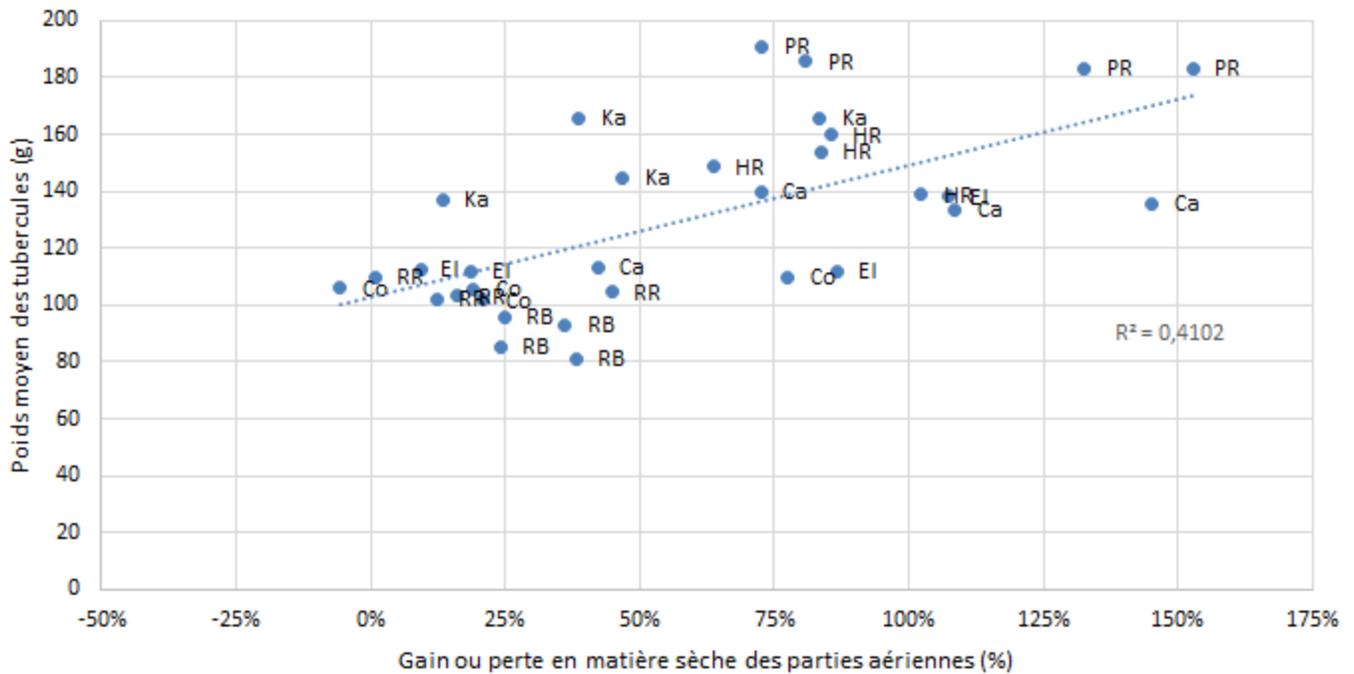


Figure 18. Poids moyen des tubercules lors de la récolte 2019 selon le gain ou la perte en matière sèche des parties aériennes des plants – Avec irrigation.

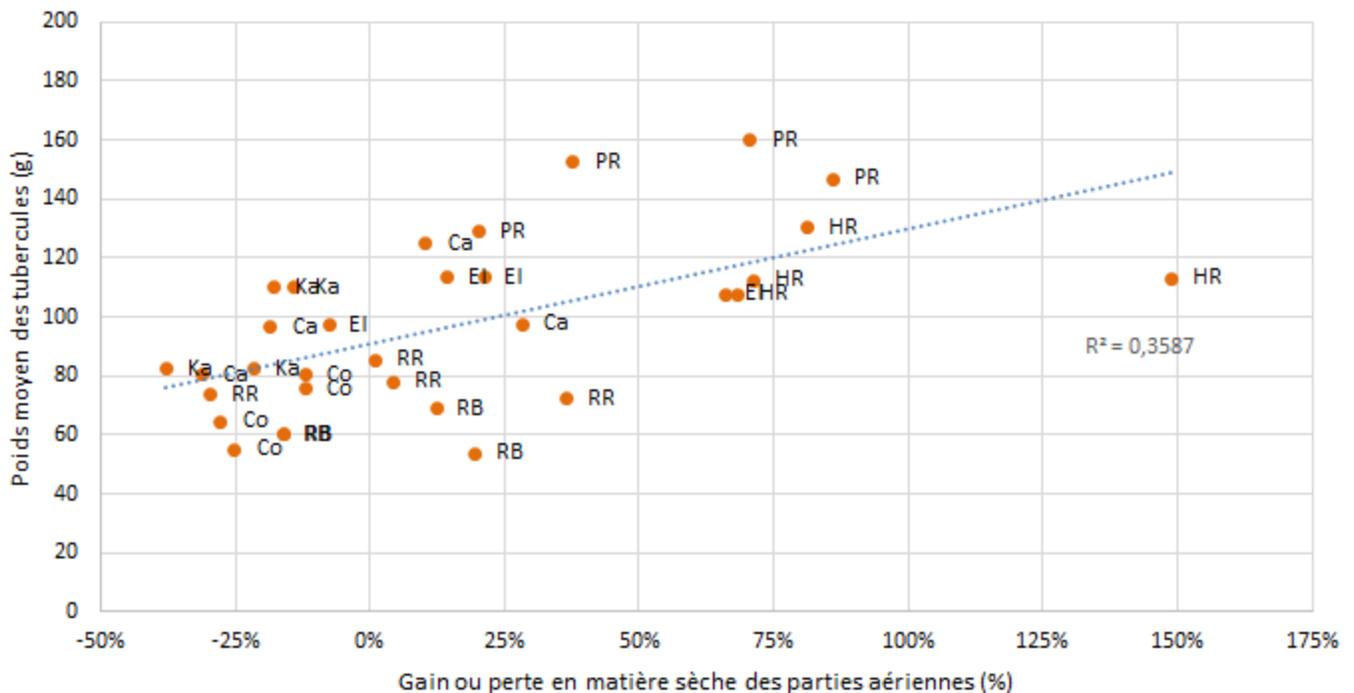


Figure 19. Poids moyen des tubercules lors de la récolte 2019 selon le gain ou la perte en matière sèche des parties aériennes des plants – Sans irrigation.

Le gain en rendement total (t/ha et %) obtenu avec l'irrigation pour les six cultivars où l'effet de ce traitement est significatif à $p \leq 0,10$, est présenté au Tableau 12 selon le cultivar. Par exemple, 30,6 t/ha ont été mesurés dans les parcelles non irriguées de Colomba, alors qu'en condition irriguée, ce rendement a été supérieur de 18,0 t/ha, ce qui représente un gain de 58,8 %.

Tableau 12. Gain significatif ($p \leq 0,10$) en rendement obtenu (t/ha et %) avec l'irrigation en 2019.

| Cultivars | Rendement total (t/ha) sans irrigation | Gain en rendement total | |
|------------------|---|----------------------------|------|
| | | t/ha | % |
| Colomba | 30,6 | 18,0 | 58,8 |
| Campagna | 43,9 | 12,5 | 28,5 |
| Kalmia | 34,3 | 19,3 | 56,3 |
| Pomerelle Russet | 34,8 | 7,4 | 21,3 |
| Rickey Russet | 35,3 | 16,4 | 46,5 |
| Russet Burbank | 29,1 | 16,9 | 58,1 |

Pour chacune des 32 parcelles irriguées, le rendement total, lors de la récolte, et le rendement vendable, après classement, a été mis en relation et est présenté à la Figure 20. La même démarche a été effectuée pour les 32 parcelles non irriguées (Figure 21).

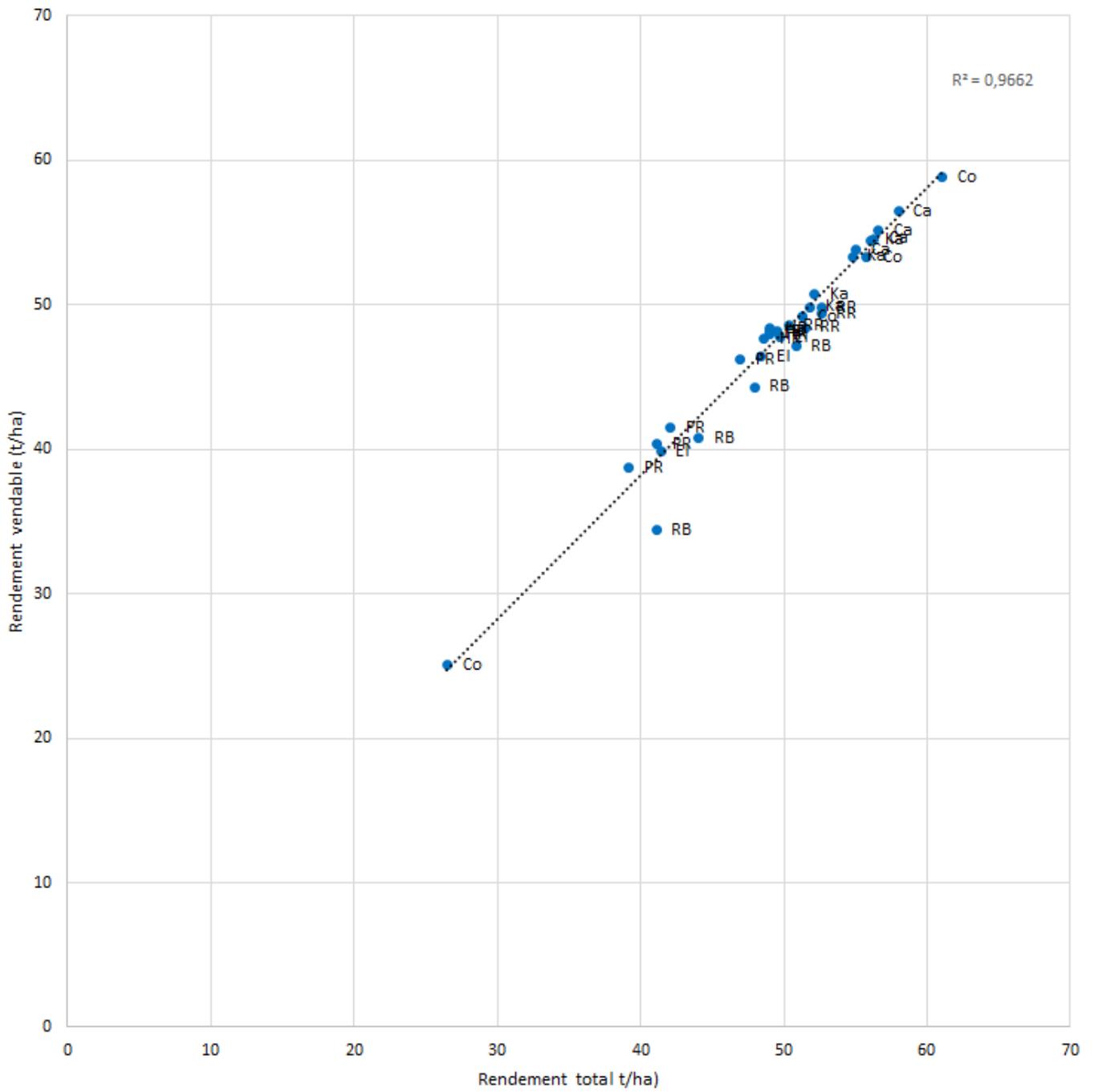


Figure 20. Rendement total et vendable (t/ha) pour une parcelle donnée en contexte irrigué – Saison 2019.

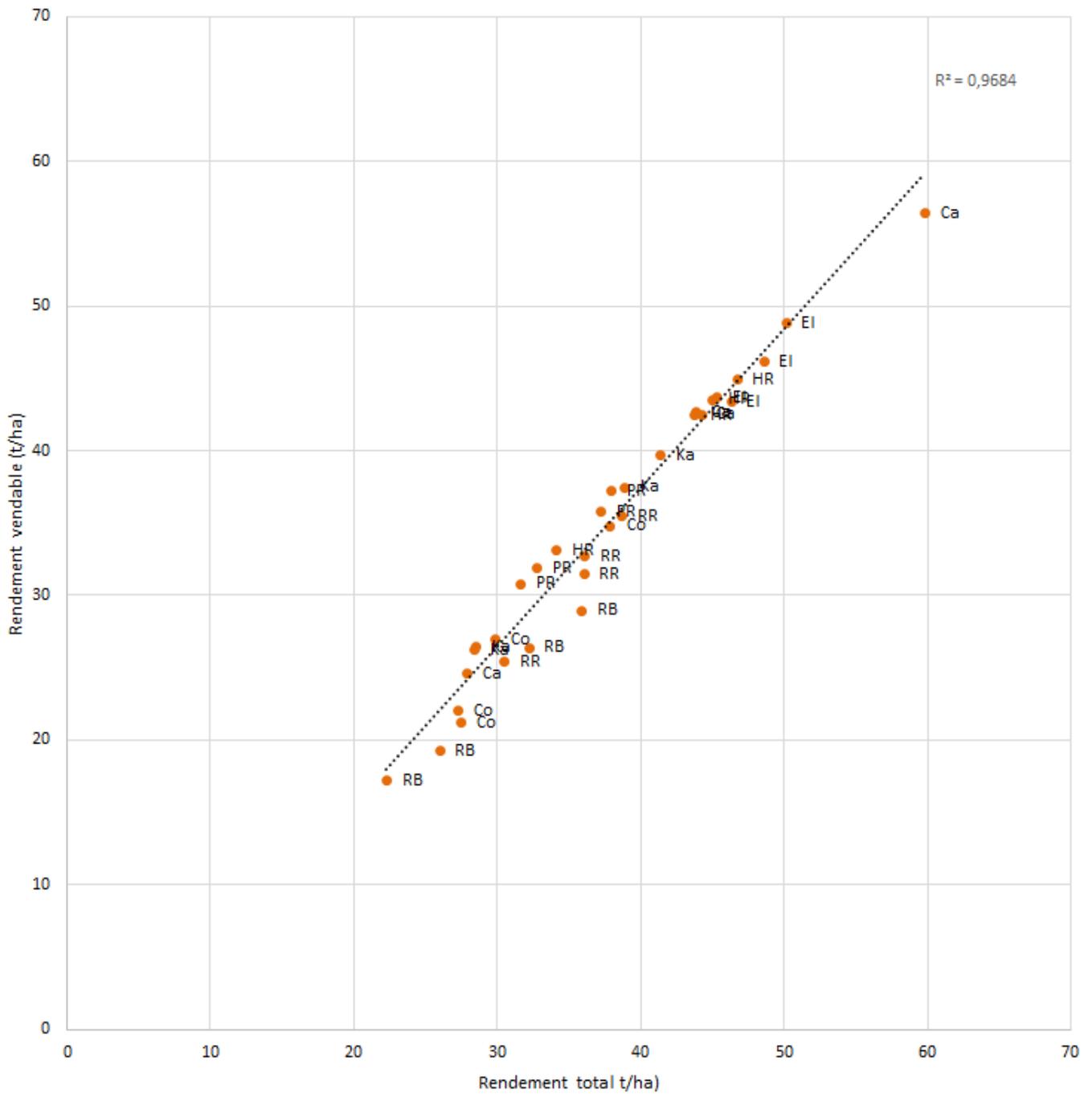


Figure 21. Rendement total et vendable (t/ha) pour une parcelle donnée en contexte non irrigué – Saison 2019.

5 Analyse et discussion selon les objectifs

5.1 Évaluer le besoin d'approvisionnement en eau selon le cultivar pour une saison complète

La saison 2019 a été propice au stress hydrique. Ce constat s'appuie d'abord sur l'évidence que chacun des cultivars a subi une contrainte de prélèvement en eau (Figure 6 et Figure 7). Il s'appuie aussi sur une progression plus faible du recouvrement de la culture et une valeur maximale de recouvrement qui a été inférieure à celle des plants avec irrigation (Figure 10 à Figure 14). De plus, le poids en matière sèche des parties aériennes au 15 août a été plus faible (Figure 15). Ce stress hydrique n'a toutefois pas eu d'impact sur le nombre total de tubercules produit par le plant (Tableau 10). Il faut plutôt s'intéresser au poids moyen de ces derniers pour mesurer l'impact du stress. En effet, le poids moyen des tubercules est inférieur, hormis pour Elmo qui fait bande à part à ce sujet où aucune différence n'a été mesurée. Ce dernier fait aussi bande à part avec Highland Russet pour l'absence de différence significative en ce qui a trait au rendement, avec ou sans irrigation (Tableau 11).

Dans ce projet, l'évaluation du besoin d'approvisionnement en eau repose sur l'estimation de l' ET_{c-TDR} pour la période allant de la plantation jusqu'à la récolte (PL-RÉC). Cet exercice a été réalisé avec des plants qui ont cru en absence de stress hydrique. L'évaluation de l' ET_{c-TDR} pour chacun des cultivars se situe entre 209 et 266 mm pour la période PL-RÉC (Tableau 5).

Un développement végétatif moins important et les contraintes de prélèvement de l'eau suggèrent que Highland Russet et Elmo ont eu un ET_{c-TRD} plus faible, donc un besoin en eau plus faible. Quoique ces deux cultivars aient ponctuellement été dans des conditions de stress hydriques, il n'y a eu aucun gain de rendement avec l'irrigation. Par conséquent, cette méthode a surestimé le besoin en eau pour Elmo et Highland Russet.

Au maximum de l'enracinement de la culture en 2019, la RFU en présence a été évaluée entre 15 et 20 mm. Avec cette RFU, la proportion des précipitations totale qui avait le potentiel d'être valorisée par la culture était de 38 et 44 %, selon le cultivar et la hauteur totale reçue (Tableau 5). En soustrayant cette contribution à l' ET_{c-TDR} , l'écart à combler avec l'irrigation se situe entre 30 et 64 mm, pour 2019. Cela accorde aux précipitations une efficacité de 100 % dès les premiers mm, ce qui n'est fort probablement pas le cas. Selon l'intensité, la durée, le statut hydrique du sol au moment de la précipitation, cette efficacité sera variable.

L'apport total d'eau conséquente aux 10 épisodes d'irrigation effectuée en 2019 a été de 155 mm (Tableau 7). Toutefois, l'efficacité des épisodes du 5 et du 18 juillet, ainsi que ceux du 15 et du 28 août a été diminué par des précipitations qui ont eu lieu le lendemain, dans les jours qui ont suivi l'apport où même durant l'apport. De plus, un problème de communication a occasionné une surirrigation le 2 août où la hauteur d'eau appliquée a été plus de deux fois la hauteur prévue. Ainsi, 57 mm ont été « retirés » de l'apport brut. Conséquemment, la contribution potentielle de l'irrigation a été plus près de 100 mm.

5.2 Anticiper les périodes plus intenses de prélèvements en eau et par conséquent, des éléments nutritifs

De 46 à 56 % du prélèvement en eau de la culture a été concentré entre la floraison et les premiers signes de sénescence (FLO-SÉN) en 2019 (Tableau 4). Sur le plan de la durée, cette période compte pour 25 à 30 % de la saison de culture. De plus, c'est durant cette période que les K_c ont été les plus élevés. Les journées où l' ET_p est élevée et celles où des valeurs élevées d' ET_p sont anticipées (Tableau 6) sont donc à surveiller durant cette période. La période qui précède la floraison (ÉM-FLO) arrive en 2^e place pour l'intensité du prélèvement en eau avec 21 à 33 % des prélèvements totaux.

5.3 Établir un classement des cultivars fondé sur le risque de subir un stress hydrique

En 2019, il y a eu 4 périodes où les précipitations ont été absentes ou quasi absentes, soit du 5 au 12 juin, du 17 au 25 juin, du 23 juillet au 8 août et du 14 au 18 août (Figure 3). Les deux premières périodes ont eu lieu à un moment où le prélèvement en eau est plus faible. La période la plus importante en termes de durée est celle du 23 juillet au 8 août. Elle s'avère aussi s'être déroulée durant la période la plus intense de prélèvement, soit entre la floraison et la sénescence (FLO-SÉN). Ces périodes n'ont pas influencé le nombre de tubercules. La différence de rendement s'explique plutôt par le poids moyen par tubercule. Le nombre de tubercules par plant pourrait être un facteur de risque en contexte propice au stress hydrique. Plus un cultivar tend à produire un nombre élevé de tubercules par plant, plus la perte de rendement pourrait être élevée en situation propice au stress hydrique. Russet Burbank, Rickey Russet et Colomba ont tout un nombre élevé de tubercules par plant et une grande différence de rendement entre le traitement avec et sans irrigation.

Le risque de subir un stress hydrique est certes une information pertinente, mais qui demeure peu utile si l'impact de ce risque est inconnu. En y combinant les résultats obtenus en 2019 pour les rendements, il est possible de construire une matrice des risques (Figure 22). La proportion du temps où la RFU a été épuisée entre la plantation et la récolte (SÉN-RÉC) a été utilisée pour déterminer le risque de subir un stress hydrique. Le gain en rendement en contexte irrigué, comparativement à celui non irrigué, a été utilisé pour déterminer l'impact possible sur le rendement.

En fonction de l'évapotranspiration de la culture (ET_c -TDR) mesurée pour Elmo, ce dernier se retrouve dans la catégorie « élevée » pour le risque de subir un stress hydrique, mais l'absence de différence de rendement entre les traitements avec et sans irrigation indique que la possibilité que ce risque se traduise en baisse de rendement est faible. Rickey Russet et Kalmia ont aussi un risque élevé de subir un stress hydrique, mais la possibilité que ce risque se traduise en une baisse de rendement est élevée dans leur cas. Même avec un risque de stress hydrique moyen, la possibilité que cela se traduise en une baisse de rendement est élevée pour Russet Burbank et Colomba, alors qu'il est modéré pour Campagna. Le risque de subir un stress hydrique est faible pour Highland Russet et Pomerelle Russet et la possibilité que ce risque se traduise en baisse de rendement est moyennement faible pour Pomerelle Russet et faible pour Highland Russet.

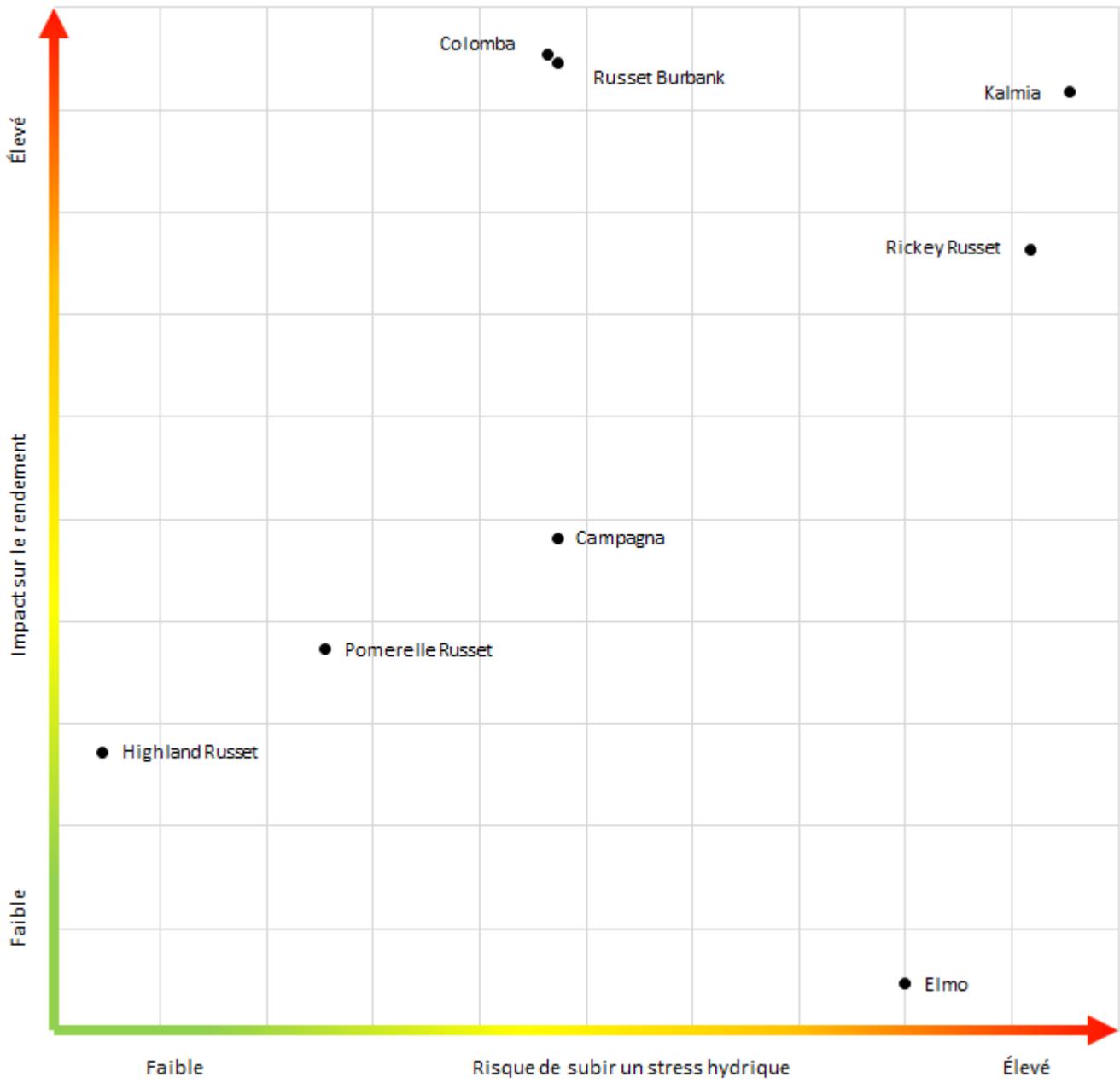


Figure 22. Matrice des risques issue des résultats obtenus en 2019.

5.4 Améliorer l'efficacité des outils de gestion de l'irrigation

Cet objectif ciblait principalement le bilan hydrique. La précision de cet outil d'aide à la décision (OAD) repose entre autres sur l'utilisation d'un coefficient cultural (K_c) approprié à la culture et au stade de développement de cette dernière. Ce projet propose des K_c pour 8 cultivars selon 4 stades de développement (Tableau 4). La précision de cet OAD repose aussi sur une RFU qui est représentative du système cultural en présence. Cette RFU peut être déterminée à l'aide d'un OAD ou d'une combinaison de ceux-ci. Un tensiomètre ou une sonde de teneur en eau, combinée à des valeurs d' ET_p , permettent d'identifier des repères spécifiques à un système cultural donné.

Au printemps 2021, un module de bilan hydrique sera intégré à CIPRA. Ce module sera alimenté des données du réseau de stations météorologiques d'Agrométéo Québec.

Le bilan hydrique demeure une approche théorique qui peut et gagne à être combinée avec un autre outil comme le tensiomètre ou une sonde de teneur. Il peut aussi être utilisé pour évaluer le degré du risque de stress hydrique auquel est exposée une entreprise.

6 Conclusion

La gestion du risque que la culture subisse un stress hydrique doit débuter avant même la mise en terre des plantons. La sélection d'un cultivar devrait faire partie intégrante d'une stratégie d'irrigation qui est en accord avec l'objectif poursuivi avec l'irrigation et les ressources en eau qui peuvent être utilisées. La sélection d'un cultivar peut même devenir une étape importante d'une stratégie de résilience en contexte où le risque de stress hydrique est élevé et où intervenir avec l'irrigation n'est pas une option. Le besoin en eau des cultivars et l'impact d'un stress hydrique ou encore, l'absence de stress, sur le rendement deviennent de l'information privilégiée pour faire un choix éclairé.

Une fois les plantons en terre, la gestion de l'irrigation et du risque que la culture subisse un stress hydrique doit aussi se faire au présent avec de l'information provenant d'outils d'aide à la décision et en accord avec la stratégie adoptée. Les conditions météorologiques sont variables et imprévisibles et peuvent devenir un facteur facilitant comme aggravant.

Cette thématique de recherche doit se poursuivre avec un plus grand nombre de cultivars et de contextes pédologiques. Ce faisant, le choix d'un cultivar pourra s'appuyer sur un portrait plus complet du catalogue.

Entre temps, chacune des entreprises a les outils qu'il faut pour évaluer le degré du risque de stress hydrique auquel elle est exposée et pour gérer ce risque.

7 Références

- Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC). 2002. Le système canadien de classification des sols, 3^e édition, Presses scientifiques du CNRC, Ottawa, Canada, 196 p.
- Agence canadienne d'inspection des aliments (ACIA). 2015. Manuels d'inspection des légumes frais – Pomme de terre, 2. Calibre, [En ligne] <http://www.inspection.gc.ca/aliments/fruits-et-legumes-frais/inspection-de-la-qualite/manuels-d-inspection-des-legumes-frais/pommes-de-terre/fra/1387374793841/1387374861996?chap=2>.
Page consultée le 15 janvier 2020.
- Allen, R.G., L.S. Pereira, D. Raeset et M. Smith. 1998. Crop Evapotranspiration - Guidelines for computing crop requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper No 56. Rome.
- Boivin, C. et coll. 2018. Gestion raisonnée de l'irrigation – Guide technique. CRAAQ. 312 p.
- Boivin, C., G. Bourgeois, J. Vallée, P. Deschênes, L. Belzile, P.-O. Martel et D. Bergeron. 2019. Régie raisonnée d'irrigation pour le bleuets nain cultivé dans un contexte de climat variable et en évolution. Rapport remis au MAPAQ. IRDA. 200 p.
- Conseil des productions végétales du Québec (CPVQ). 1988. Méthodes d'analyse des sols, des fumiers et des tissus végétaux. CPVQ. Québec. Agdex 533, méthode SS-1.
- Gee et Bauder. 1986. Particle-size analysis. p. 383-411. In A. Klute (ed) Methods of soil analysis. Part 1. ASA. Monograph No 9. 2nd edition. Madison, WI.

8 Annexe



Figure 23. Gabarit de 14 pouces utilisé lors de la plantation.



Figure 24. Gicleur au centre d'une parcelle (28 juin 2019).



Figure 25. Dispositif expérimental (18 juillet 2019).