

**PROGRAMME D'APPUI AU DÉVELOPPEMENT DE L'AGRICULTURE ET DE
L'AGROALIMENTAIRE EN RÉGION**

**ÉVALUATION D'OUTILS D'AIDE À LA DÉCISION POUR L'IRRIGATION DE LA POMME
DE TERRE DANS UN CONTEXTE DE RESSOURCES HYDRIQUES ET MATÉRIELLES
LIMITÉES**

RAPPORT FINAL

Réalisé par :

Daniel Bergeron, agr., M.Sc., consultant en irrigation
Philippe-Antoine Taillon, agr. – DRCN du MAPAQ
Alexandra Bédard, étudiante – DRCN du MAPAQ

Mars 2022

Ce projet a été financé par le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation, dans le cadre du Programme d'appui au développement de l'agriculture et de l'agroalimentaire en région.

Québec 

Les résultats, opinions et recommandations exprimés dans ce rapport émanent de l'auteur ou des auteurs et n'engagent aucunement le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation.

TABLE DES MATIÈRES

MISE EN CONTEXTE	1
OBJECTIF	2
MATÉRIEL ET MÉTHODE	2
Site expérimental	2
Essai 2020.....	3
Essai 2021.....	4
RÉSULTATS ET DISCUSSION	8
2020	8
Précipitations	8
Caractéristiques du sol.....	9
Potentiels matriciels.....	9
Site Valupierre.....	9
Site Valupierre Bio	10
2021	11
Précipitations	11
Potentiels matriciels.....	12
Site Valupierre Bio	12
Site Valupierre.....	13
Relation entre les valeurs des tensiomètres Irrometer et les sondes Watermark	15
Teneur en eau volumique	17
Site Valupierre Bio	17
Site Valupierre.....	20
CONCLUSION	22
ÉQUIPE DE RÉALISATION DU PROJET	22
COLLABORATEURS	22
REMERCIEMENTS	22
BIBLIOGRAPHIE	23

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1. Localisation des deux sites d'essai à Saint-Laurent-de-l'Île-d'Orléans en 2020 et 2021.....	2
Figure 2. Installation des tensiomètres et des sondes Watermark sur le site Valupierre en 2020	3
Figure 3. Schéma et photo de la sonde Watermark	4
Figure 4. Schéma et photo de l'installation de la sonde FDR sur le site Valupierre en 2021	5
Figure 5. Installation de la sonde Soiltech (a) sur le site Valupierre en 2021 en juin 2021 (b) et lors de la réinstallation en juillet 2021 (c).....	6
Figure 6. Installation des tensiomètres et des sondes Watermark et FDR sur le site Valupierre en 2021.....	7
Figure 7. Précipitations journalières enregistrées au champ aux sites Valupierre (a) et Valupierre Bio (b) en 2020	8
Figure 8. Potentiel matriciel observé à 18 cm de profondeur avec le tensiomètre Irrometer et la sonde Watermark au site Valupierre du 13 août au 29 septembre 2020.....	10
Figure 9. Potentiel matriciel observé à 18 cm de profondeur avec le tensiomètre Irrometer et la sonde Watermark au site Valupierre Bio du 13 août au 29 septembre 2020	11
Figure 10. Précipitations journalières enregistrées au champ aux sites Valupierre (a) et Valupierre Bio (b) en 2021	Erreur ! Signet non défini.
Figure 11. Potentiel matriciel observé à 20 cm de profondeur avec le tensiomètre Irrometer et la sonde Watermark au site Valupierre Bio du 13 juin au 5 septembre 2020.....	13
Figure 12. Potentiel matriciel observé à 20 cm de profondeur avec le tensiomètre Irrometer et la sonde Watermark au site Valupierre du 10 juin au 30 septembre 2020	13
Figure 13. Relation entre le potentiel matriciel obtenu avec les sondes Watermark et celui mesuré par les tensiomètres Irrometer sur chacun des sites et lors des saisons 2020 et 2021	15
Figure 14. Relation entre le potentiel matriciel obtenu avec les sondes Watermark et celui mesuré par les tensiomètres Irrometer sur les deux sites lors de la saison 2021	16
Figure 15. Évolution de la teneur en eau à 20 cm de profondeur du 1er juillet au 4 septembre 2021 au site Valupierre Bio avec les sondes FDR et Soiltech.....	17
Figure 16. Évolution de la teneur en eau à 20 cm de profondeur du 22 juillet au 15 août 2021 au site Valupierre Bio avec les sondes FDR et Soiltech.....	18
Figure 17. Exemple de détermination de la plage de teneur en eau à maintenir à partir des données de teneur en eau mesurées à 20 cm de profondeur du 22 juillet au 15 août 2021 au site Valupierre Bio avec la sonde Soiltech	19
Figure 18. Évolution de la teneur en eau à 20 cm de profondeur du 4 juillet au 7 septembre 2021 au site Valupierre avec les sondes FDR et Soiltech.....	20
Figure 19. Évolution de la teneur en eau à 20 cm de profondeur du 22 juillet au 15 août 2021 au site Valupierre Bio avec les sondes FDR et Soiltech.....	21

MISE EN CONTEXTE

La pomme de terre est une production très importante au Québec. En 2015, 17 100 hectares sont occupés par cette culture, représentant des recettes de plus de 152 millions de dollars (ISQ 2018 cité par Boivin et coll., 2018). Afin de maintenir une production de qualité et dont les volumes sont les plus constants possibles au fil des ans, les entreprises ont de plus en plus recours à l'irrigation. En 2000, il était estimé que 3260 hectares étaient irrigués au Québec (BPR, 2003) alors que cette surface représente maintenant environ 6150 hectares. Ainsi, les entreprises sont maintenant en mesure d'irriguer 36 % des superficies cultivées en pommes de terre, comparativement à environ 18 % en 2000.

Dans les régions de la Capitale-Nationale et de Chaudière-Appalaches, la pomme de terre occupe 3800 ha, soit presque 25% de la production du Québec. Les cultures se font généralement dans des sols sableux à loam sableux, qualifiés de sols légers et dont la réserve en eau utile est limitée. Sur l'île d'Orléans, où une partie importante de la production de la Capitale-Nationale se déroule, les sols sont de texture limoneuse à argileuse, caractéristiques qui pourraient théoriquement améliorer grandement la réserve en eau disponible. Cependant, ces sols sont préentent souvent une proportion élevée de fragments grossiers, de sorte qu'ils se comportent davantage comme des sables. Ainsi, les réserves en eau utiles du sol sont souvent limitées et les apports en eau se doivent souvent d'être fréquents.

Afin d'optimiser les rendements et la qualité de la récolte, les producteurs irriguent de plus en plus leurs champs de pommes de terre. Cependant, un enjeu important affecte tous les producteurs de pommes de terre au Québec, soit la quantité d'eau disponible pour l'irrigation. La quantité d'eau dont les plants ont besoin pour une production optimale excède dans la plupart de cas les volumes disponibles, comme c'est le cas pour plusieurs entrprises de l'Île d'Orléans. Aussi, les entreprises ne disposent souvent pas suffisamment de systèmes d'irrigation leur permettant d'intervenir rapidement lorsque les consignes établies pour l'irrigation sont atteintes.

L'utilisation d'outils d'aide à la décision est primordiale dans un contexte de production de pommes de terre irriguée. Les tensiomètres sont un exemple d'outil qui est très utilisé et pour lesquels des consignes sont connues et ont été établies dans un contexte de production pour plusieurs cultures. Dans la grande majorité des sols dans lesquels la pomme de terre est cultivée, le potentiel matriciel cible pour le déclenchement des irrigations se situe sous la barre du potentiel maximal que peut atteindre la majorité des tensiomètres disponibles (- 80 kPa). Toutefois, en situation où les irrigations ne sont pas effectuées assez rapidement, le sol s'assèche, atteignant des potentiels matriciels beaucoup plus faibles que les -80 kPa et le tensiomètre se décharge souvent et devient alors non fonctionnel jusqu'à ce que le sol ne soit réhumecté et que le tensiomètre ait été rechargé. Des données sont alors non disponibles et du temps doit être consacré à recharger les tensiomètres.

Des sondes qui seraient précises et qui ne se déchargeraient pas dans un contexte où les ressources en eau et en systèmes d'irrigation sont limitées pourraient permettre aux entreprises de bien connaître la situation au champ tout au long de la saison et de ne pas trop solliciter des ressources humaines qui sont déjà occupées à d'autres tâches.

OBJECTIF

Évaluer des outils d'aide à la décision pour l'irrigation de la pomme de terre dans un contexte de ressources hydriques et matérielles limitées.

MATÉRIEL ET MÉTHODE

Site expérimental

Le projet a été réalisé dans des champs de production commerciale de pommes de terre chez Ferme Valupierre inc. (production conventionnelle) et à la ferme Valupierre BIO S.E.N.C. (production certifiée Biologique), toutes deux situées à Saint-Laurent-de-l'Île-d'Orléans au cours des années 2020 et 2021. Afin de faciliter la compréhension du texte, le site de Ferme Valupierre inc. se nommera Site Valupierre tandis que celui de la ferme BIO S.E.N.C. portera le nom de site Valupierre Bio (Figure 1).



Figure 1. Localisation des deux sites d'essai à Saint-Laurent-de-l'Île-d'Orléans en 2020 et 2021

Essai 2020

En 2020, le champ choisi pour l'essai au site Valupierre Bio était situé dans un champ contigu à la ferme et n'était pas certifié Biologique. La plantation a été effectuée en mai avec le cultivar Red Maria. Toutes les opérations culturales ont été effectuées de façon conventionnelle. Sur le site Valupierre, le cultivar utilisé a été Campagna et la plantation a également été effectuée également en mai, suivie de pratiques culturales conventionnelles.

La granulométrie a été mesurée à partir d'échantillons composites prélevés dans l'horizon 0-30 cm. La granulométrie a été effectuée selon la méthode Boyoucos (Ministère de l'Environnement du Québec, 2003) et la classification selon le Système canadien de classification des sols (Groupe de travail sur la classification des sols, 1998). La proportion pondérale de débris organiques et de gravier (> 2 mm) a été mesurée et exprimée en pourcentage.

Pour chacun des sites de 2020, les équipements de suivi de l'état hydrique du sol n'ont pu être installés que le 13 août. À chaque site, deux tensiomètres Irrrometer et deux sondes Watermark 200SS (Irrrometer, Riverside, Californie, États-Unis) étaient disposés en parallèle à deux profondeurs, soit 15 et 30 cm de profondeur dans la butte, celles-ci correspondant respectivement à la mi-hauteur et au maximum de l'enracinement. Les quatre équipements étaient branchés à une station NGT-T4 (Gaspar Technologies inc., St-Pierre de l'Île D'Orléans, Québec, Canada) et les données étaient cumulées et transmises sans fils à la plate-forme Web GasparConnect de Gaspar Technologies (Figure 2).



Figure 2. Installation des tensiomètres et des sondes Watermark sur le site Valupierre en 2020

Un pluviomètre automatisé Davis 6466M (Davis Instruments, Hayward, Californie, États-Unis) a été installé sur chaque site et les données étaient transmises sans fils à la plate-forme Web GasparConnect de Gaspar Technologies.

La sonde Watermark 200SS est un capteur de détection à l'état solide, de type résistance électrique avec une matrice granulaire qui permet d'estimer le potentiel hydrique du sol de 0 à -200 kPa (Figure 3).

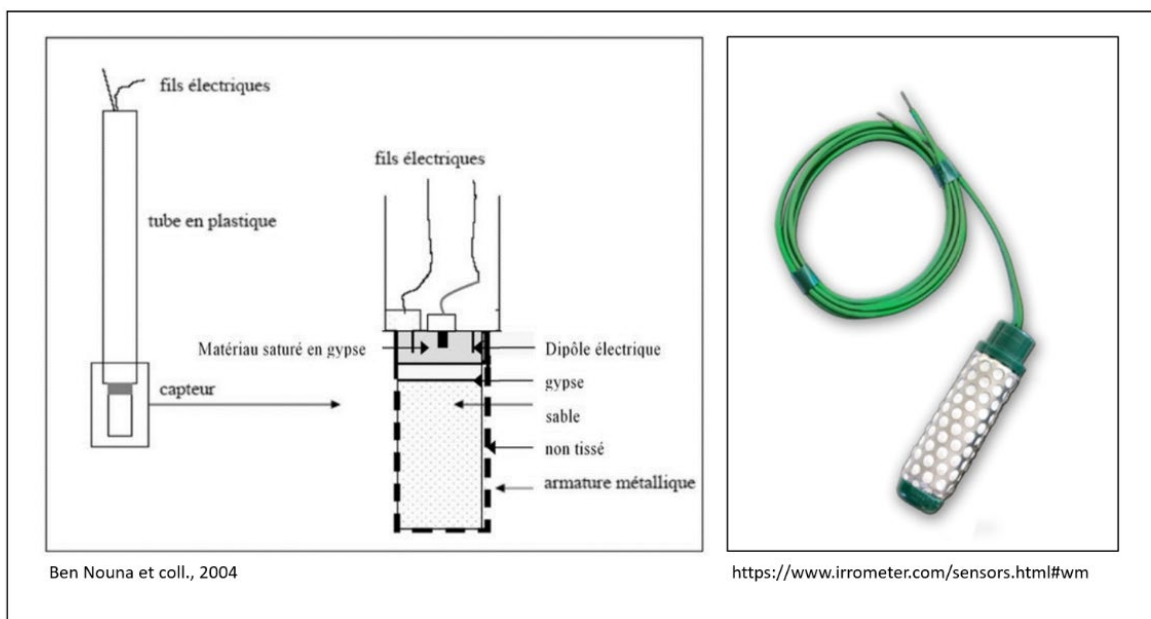


Figure 3. Schéma et photo de la sonde Watermark

L'équation qui a été utilisée pour transformer la valeur de résistance en potentiel matriciel (- kPa) est la suivante (Irrometer):

$$\text{Potentiel matriciel (- kPa)} = -(-0,00279 * \text{kohms}^3 + 0,19109 * \text{kohms}^2 + 3,71485 * \text{kohms} + 6,73956)$$

Essai 2021

En 2021, l'essai au site Valupierre Bio a été mené dans un champ de production certifiée biologique. La plantation a été effectuée en mai avec le cultivar Gabrielle. Toutes les opérations culturales ont été effectuées en respect des normes de certification biologique en vigueur. Sur le site Valupierre, le cultivar utilisé a été Red Maria et la plantation a également été effectuée également en mai, suivie de pratiques culturales conventionnelles.

Les tensiomètres Irrometer et les sondes Watermark ont été installés comme en 2020. Pour faciliter sa calibration, la sonde Watermark a été munie d'un adaptateur de voltage 200SS-Va (Irrometer) qui permettait, en utilisant la calibration de Shock (1998), de générer une valeur de sortie linéaire de 0-2,8 v (0-239 kPa) où 1 kPa = 0,0117 v.

De plus, deux sondes visant à mesurer la teneur en eau volumique ont été ajoutées. Il s'agissait de la sonde FDR (Frequency Domain Reflectometry) modèle MEC20 (Gaspar Technologies Inc.) (Figure 4) et la sonde Soiltech (Soiltech, Rupert, Idaho, États-Unis). Cette dernière mesure l'humidité du sol par une méthode capacitive (Soltan, 2022). Les tensiomètres, les sondes Watermark et la sonde FDR étaient branchés à une station NGT-T4 et les données étaient cumulées et transmises sans fils à la plate-forme Web GasparConnect de Gaspar Technologies. Quant à la sonde Soiltech, aucun branchement n'est nécessaire et les données sont transmises sans fils à la plate-forme Web SoiltechWireless.

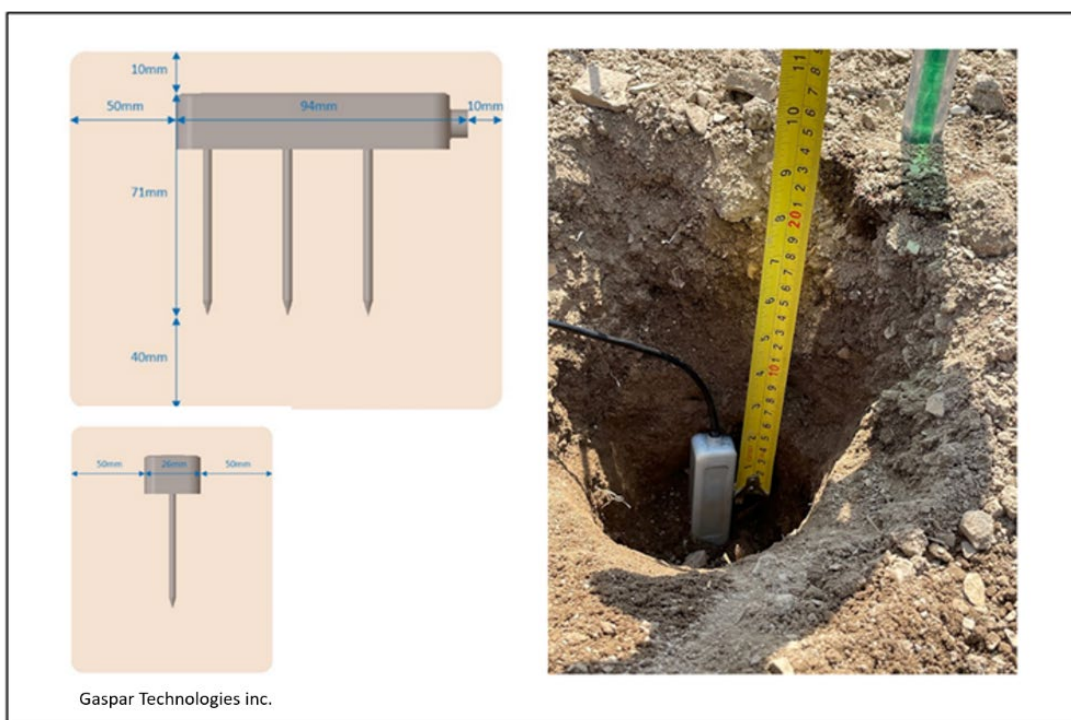


Figure 4. Schéma et photo de l'installation de la sonde FDR sur le site Valupierre en 2021

À noter que la sonde Soiltech a été installée initialement tel que présenté à la Figure 5 b, dans le sac fourni par la compagnie Soiltech. Les données enregistrées par la suite n'étaient pas valides en raison du manque de contact entre le sol et les anneaux métalliques de la sonde, qui servent à déterminer la teneur en eau. En sol à texture grossière, le fabricant recommande de mettre du sol tamisé et presque saturé en eau dans le sac au pourtour lors de l'installation. Cette procédure a été respectée lors de la remise en place au début juillet 2021 (Figure 5 c).



Figure 5. Installation de la sonde Soiltech (a) sur le site Valupierre en 2021 en juin 2021 (b) et lors de la réinstallation en juillet 2021 (c)

Un pluviomètre automatisé Davis 6466M (Davis Instruments, Hayward, Californie, États-Unis) a été installé sur chaque site et les données étaient transmises sans fils à la plate-forme Web GasparConnect de Gaspar Technologies.

Il est fréquent pour les entreprises de pommes de terre d'installer les équipements de suivi de l'état hydrique du sol seulement après que les opérations de sarclage et de renchaussage aient été effectuées, cela dans le but de ne pas avoir à les désinstaller avant ces opérations culturales et à les réinstaller après coup. Cela a pour conséquence de ne pas connaître la situation au champ avant le début juillet, alors que des irrigations pourraient s'avérer, quoique rarement, nécessaires à cette période. Pour éviter cette situation, tous les équipements ont été mis en place le 13 juin (Figure 6) et les opérations de sarclage et de renchaussage ont été effectuées manuellement au pourtour du site d'essai.



Figure 6. Installation des tensiomètres et des sondes Watermark et FDR sur le site Valupierre en 2021

RÉSULTATS ET DISCUSSION

2020

Précipitations

Les données de pluviométrie enregistrées sur chacun des sites à partir de la date d'installation des équipements, soit le 17 août, sont présentées à la Figure 7. Les pluies ont été régulières en août et en première moitié de septembre mais quasi nulles à partir du 14 septembre sur les deux sites d'essai.

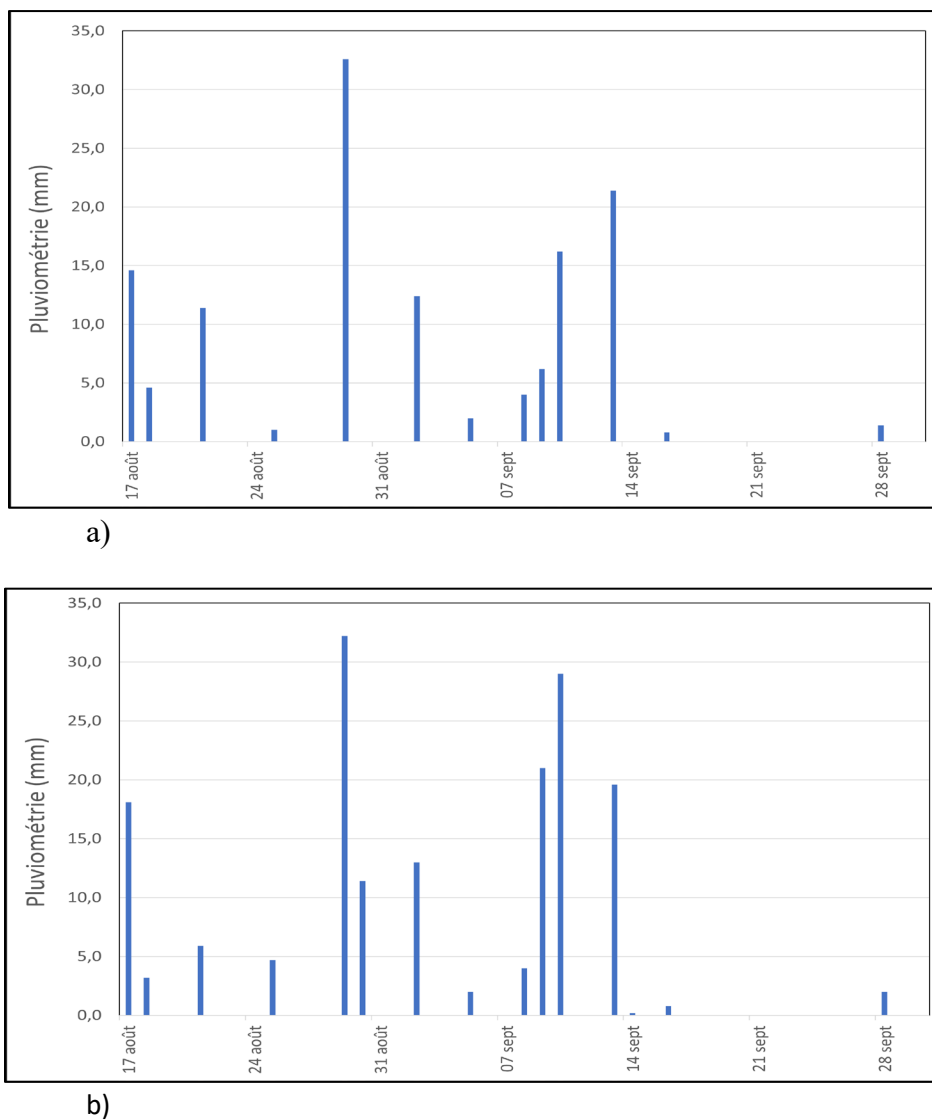


Figure 7. Précipitations journalières enregistrées au champ aux sites Valupierre (a) et Valupierre Bio (b) en 2020

Caractéristiques du sol

Les résultats des analyses granulométriques démontrent que la texture du sol varie de loam sablo-argileux à loam argileux (Tableau 1). La proportion de particules supérieures à 2 mm de diamètre (gravier et débris organiques) est très importante et varie entre 29 et 37%. De telles caractéristiques confèrent au sol des propriétés drainantes et une capacité de rétention en eau se rapprochant davantage de sols moyens à légers (Bergeron, 2010).

Tableau 1. Analyse granulométrique des quatre champs sur chacun des sites en 2020 et 2021 dans l'horizon 0-30 cm

Année	Site	Granulométrie			Classe texturale	Proportion fragments grossiers > 2 mm (%)
		Sable (%)	Limon (%)	Argile (%)		
2020	Valupierre	40	26	34	Loam argileux	37
	Valupierre Bio	46	20	34	Loam sablo-argileux	29
2021	Valupierre	49	21	30	Loam sablo-argileux	37
	Valupierre Bio	53	17	30	Loam sablo-argileux	35

Potentiels matriciels

Seules les données de potentiels matriciels des sondes installées à 17 cm (2020) et 20 cm (2021) seront présentées car ce sont ces valeurs qui servent à déterminer le moment de déclencher les irrigations et que la présence de couche de sol indurée en certains endroits n'ont pas permis de comparer adéquatement les résultats des sondes et tensiomètres installés plus profondément.

Site Valupierre

Au site Valupierre, en 2020, il a été possible d'observer les potentiels matriciels sur la presque totalité de la période de suivi. Les valeurs sont présentées à la **Figure 8**. Le sol était passablement sec lors de l'installation et, de ce fait, le tensiomètre Irrometer s'est déchargé le 14 août et n'a pu être rechargé que le 19 août, après une précipitation importante. Un suivi avec la méthode hybride à partir du 19 août, qui implique le bilan hydrique (données non présentées) et les données de potentiel matriciel, a permis de déterminer que le seuil de déclenchement de l'irrigation n'a été atteint qu'une seule fois, soit le 29 août. À ce moment, les valeurs du tensiomètre et de la sonde Watermark étaient respectivement de -38 et -75 kPa. Aucune irrigation n'a été effectuée.

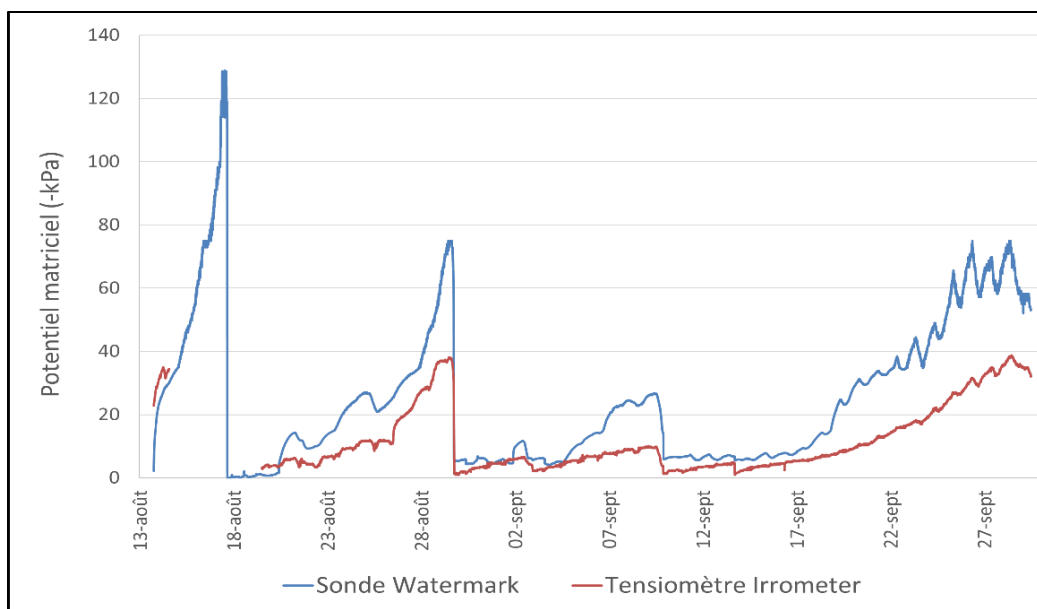


Figure 8. Potentiel matriciel observé à 18 cm de profondeur avec le tensiomètre Irrometer et la sonde Watermark au site Valupierre du 13 août au 29 septembre 2020

Site Valupierre Bio

Au site Valupierre Bio, la même situation qu'au site Valupierre a été constatée. Le tensiomètre s'est déchargé le 14 août et a dû être rechargé à deux reprises avant de fournir des données valides (Figure 9). Ainsi, entre le 14 et le 26 août, les données obtenues avec le tensiomètre n'ont pas pu être considérées. Un suivi avec la méthode hybride à partir du 19 août, qui implique le bilan hydrique (données non présentées) et les données de potentiel matriciel, a permis de déterminer que le seuil de déclenchement de l'irrigation n'a été atteint qu'une seule fois, soit le 28 août. À ce moment, les valeurs du tensiomètre et de la sonde Watermark étaient respectivement de -58 et -51 kPa.

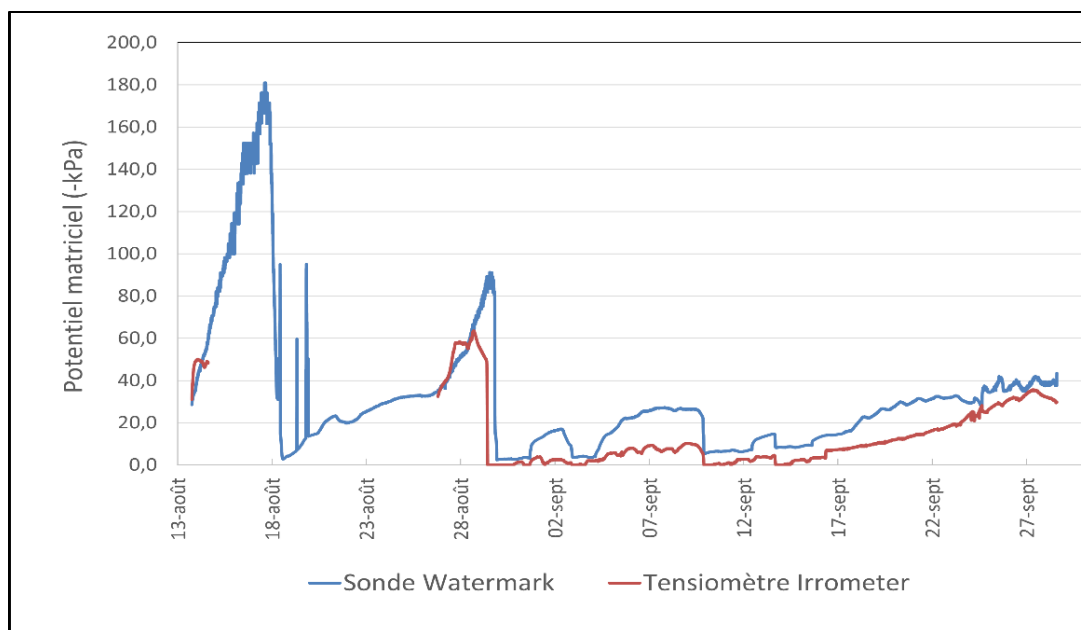


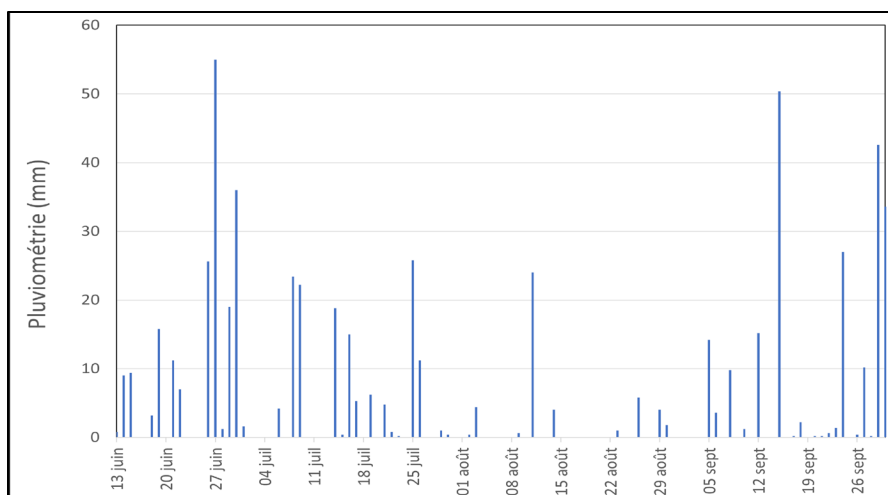
Figure 9. Potentiel matriciel observé à 18 cm de profondeur avec le tensiomètre Irrrometer et la sonde Watermark au site Valupierre Bio du 13 août au 29 septembre 2020

Au site Valupierre, les valeurs obtenues avec les sondes Watermark ont tendance à être supérieures à celles des tensiomètres Irrrometer et sont souvent parallèles jusqu'à un potentiel matriciel d'environ -35 à -40 kPa, au-delà de quoi l'écart s'accroît. À l'autre site, cette tendance est parfois l'inverse. Somme toute, quand les tensiomètres atteignent des valeurs de -35 à -40, l'écart entre celles-ci et les valeurs des sondes Watermark s'accroît de façon presque exponentielle.

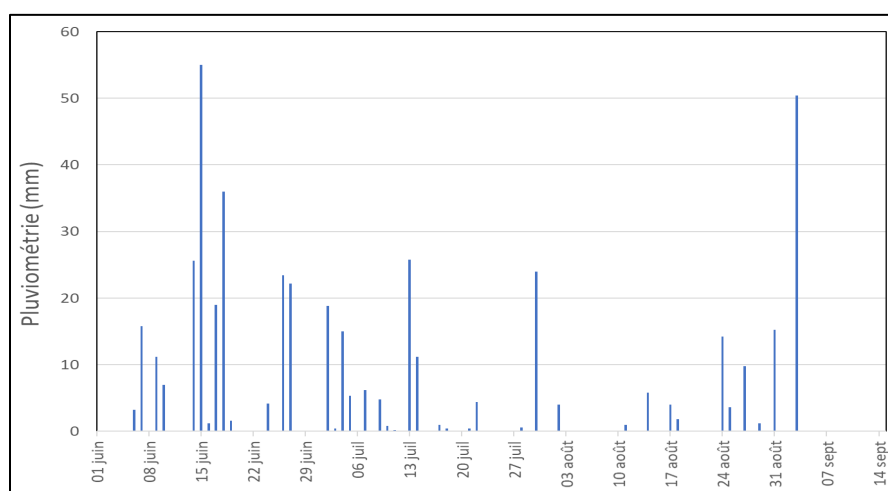
2021

Précipitations

En 2021, les données ont été enregistrées du moment de l'installation le 13 juin jusqu'au 30 septembre (Figure 10). À noter que très peu de précipitations avaient été observées sur les sites entre le 1^{er} et le 13 juin, le sol ainsi étant relativement sec lors de la mise en place des équipements. Pour chacun des sites, les pluies ont été fréquentes et importantes en deuxième moitié de juin et en septembre. Une période avec très peu de pluie a été notée entre le 26 juillet et la fin août, permettant de bien observer le comportement des sondes et tensiomètres durant cette période d'assèchement et de réhumectation.



a)



b)

Figure 10. Précipitations journalières enregistrées au champ aux sites Valupierre (a) et Valupierre Bio (b) en 2021

Potentiels matriciels

Tout au long de la saison 2021, le sol s'est asséché fréquemment, si bien que les tensiomètres Irrrometer se sont déchargés à plusieurs reprises, lorsque le potentiel matriciel avoisinait - 80 kPa et parfois même à des valeurs de - 60 kPa. De ce fait, il a absence de données de ces tensiomètres pour plusieurs jours.

Site Valupierre Bio

Au site Valupierre Bio, les tensiomètres se sont déchargés à plusieurs reprises et malgré le fait qu'ils aient été remplis fréquemment, plusieurs données sont absentes. En effet, il est inutile de recharger ce type de

tensiomètre si le sol n'a pas été réhumecté par une pluie ou une irrigation. Il fallait donc attendre que la situation se rétablisse avant de les remplir à nouveau. Les valeurs sont présentées à la Figure 11. Un suivi avec la méthode hybride qui implique le bilan hydrique (données non présentées) et les données de potentiel matriciel, a permis de déterminer que la réserve en eau facilement utilisable, estimée à 30 mm, était épuisée le 24 juillet et pour la période du 3 au 10 août. Aucune irrigation n'a été effectuée, une pluie importante (28 mm) étant survenue le 25 juillet. En août, l'entreprise a décidé de ne pas irriguer, compte tenu du cultivar et du calibre des tubercules atteint à ce moment.

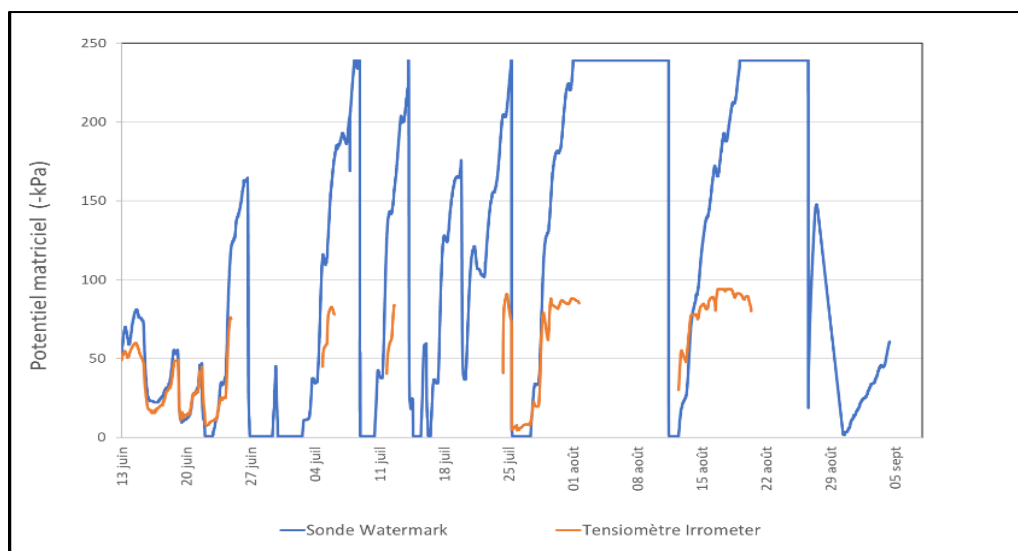


Figure 11. Potentiel matriciel observé à 20 cm de profondeur avec le tensiomètre Irrometer et la sonde Watermark au site Valupierre Bio du 13 juin au 5 septembre 2020

Avec les sondes Watermark, les valeurs ont souvent atteint les -240 kPa, qui est la valeur maximale pouvant être enregistrée. Comme en 2020, les valeurs de potentiel sont souvent près de celles des tensiomètres Irrometer pour des potentiels d'environ - 50 kPa et moins. En assèchement additionnel, la différence est importante et l'écart s'accroît. Cette sonde ne s'est déchargée en aucun temps et a rapidement indiqué des valeurs près de zéro lors de pluies importantes (ex. 25 mm).

Site Valupierre

Au site Valupierre, très peu de données de tensiomètre Irrometer à 20 cm sont disponibles entre le 22 juillet et le 12 août, ce tensiomètre s'étant déchargé à quelques reprises (Figure 12). Les deux irrigations effectuées les 14 et 24 août ont permis de maintenir le tensiomètre fonctionnel.

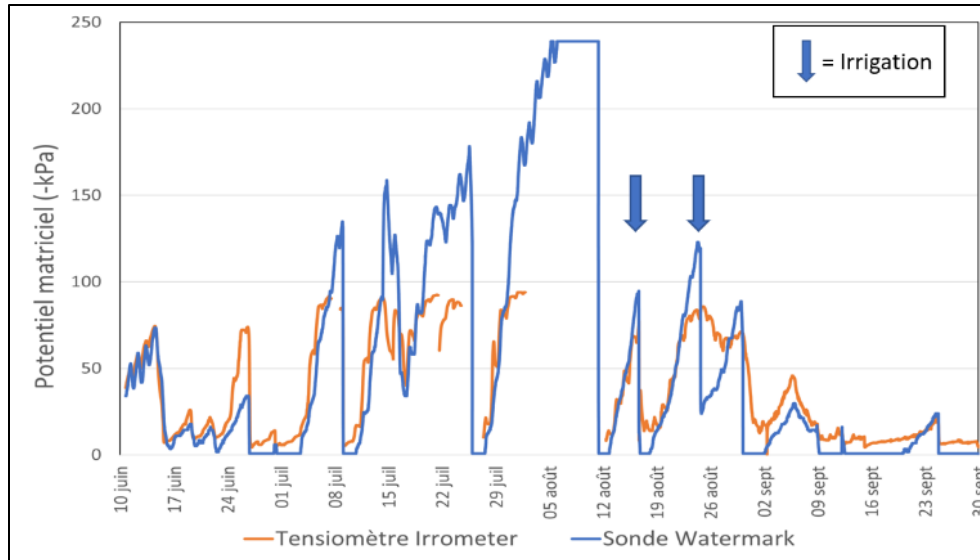


Figure 12. Potentiel matriciel observé à 20 cm de profondeur avec le tensiomètre Irrrometer et la sonde Watermark au site Valupierre du 10 juin au 30 septembre 2020

Relation entre les valeurs des tensiomètres Irrrometer et les sondes Watermark

À partir de toutes les données de potentiel matriciel des tensiomètres et des sondes Watermark, une relation a été établie entre ces deux sources de données pour les moments précis où les deux valeurs étaient disponibles. La relation pour chaque site et chacune des années est présentée à la Figure 13.

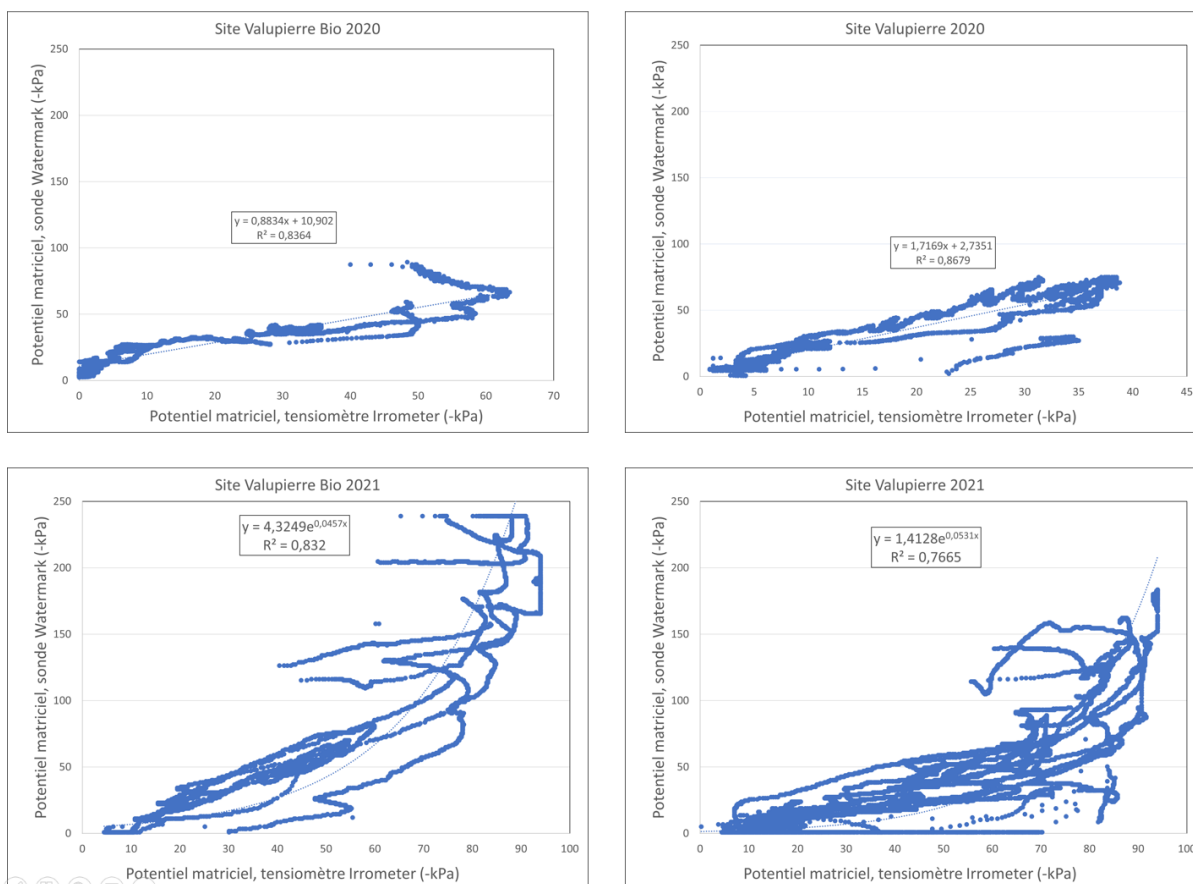


Figure 13. Relation entre le potentiel matriciel obtenu avec les sondes Watermark et celui mesuré par les tensiomètres Irrrometer sur chacun des sites et lors des saisons 2020 et 2021

Une relation a été mesurée en jumelant l'ensemble des données de chaque site pour chacune des années. Considérant que les mêmes équations et équipements de calibration n'ont pas été les mêmes pour 2020 et 2021, la relation n'a pas été mesurée pour les deux années mais seulement pour 2022 (Figure 14). Le coefficient de détermination (R^2) n'est pas très élevé et il semble y exister une relation linéaire à des valeurs de moins de -70 kPa et qui devient exponentielle par la suite. Il faut toutefois être prudent dans l'interprétation de la relation établie car pour mettre en relation les valeurs obtenues avec les deux équipements, cela suppose qu'une des valeurs (tensiomètre ou Watermark) est valide et représentative du moment et que les conditions de sol sont exactement les mêmes près des deux types de sondes, ce qui est rarement le cas. Aussi, tout changement rapide d'humidité (ex. pluie importante ou irrigation) n'entraîne pas une réponse simultanée des tensiomètres et des sondes Watermark. Finalement, il est fréquent que les

tensiomètres présentent une progression plus lente des valeurs en s'approchant de -80 kPa et que celles-ci sont quasi inexistantes entre -80 et -90 kPa.

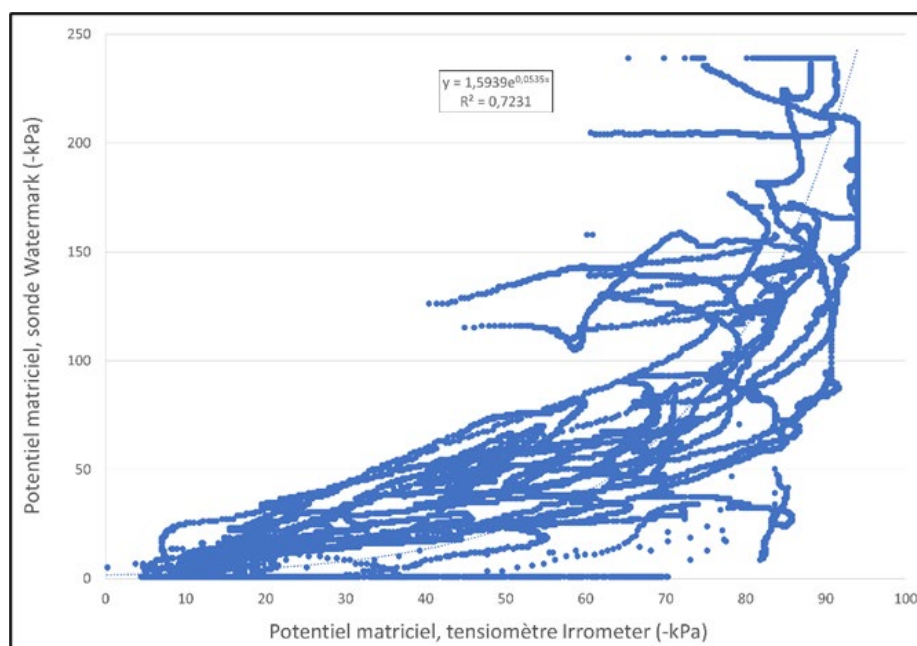


Figure 14. Relation entre le potentiel matriciel obtenu avec les sondes Watermark et celui mesuré par les tensiomètres Irrrometer sur les deux sites lors de la saison 2021

La relation démontre bien que pour le type de sol en présence (loam argileux et loam sablo-argileux graveleux), les mêmes valeurs de potentiel matriciel ne peuvent être utilisées en gestion de l'irrigation.

Si des consignes d'irrigation sont déjà établies avec des tensiomètres pour une culture donnée, il doit y avoir absolument un ajustement de la valeur avec la sonde Watermark. L'équation présentée à la Figure 13 peut servir de base. Aussi, il peut être possible pour une entreprise d'établir les nouvelles consignes d'irrigation à partir des valeurs des sondes Watermark. Après une pluie importante ou une irrigation, il y a drainage du sol et le sol atteint la capacité au champ (24 à 48 heures sans pluie ou évapotranspiration). Il s'agit de noter cette valeur de référence. Par la suite, un suivi par la méthode hybride (Boivin et coll. 2018) permettra de déterminer une valeur de potentiel matriciel correspondant à un épuisement de la réserve en eau facilement utilisable (RFU). D'autres éléments comme les résultats de recherche et le point tournant pourront étayer les consignes établies. À noter que cette démarche serait à refaire chaque année pour chaque champ à irriguer.

Pour des entreprises de pommes de terre qui sont limitées en ressources hydriques ou matérielles (systèmes d'irrigation qui ne permettent pas d'intervenir dans un court délai) ou qui ne désirent pas irriguer, pour différentes raisons, au moment où la consigne serait atteinte, l'utilisation de tensiomètres qui se déchargent à - 80 kPa représentent un grand défi car un temps important devra être consacré à remplir les tensiomètres et malgré cela, des données pourraient ne pas être disponibles pendant plusieurs jours au cours d'une saison. Aussi, le fait de recharger souvent les tensiomètres amène la personne en charge à piétiner inévitablement le sol au pourtour des tensiomètres en plus de briser les tiges des plants. Le site

d'observation s'en trouve affecté et devient moins représentatif de l'ensemble du champ. Sinon, le tensiomètre représente un bon choix car les irrigations effectuées en août 2021 au site Valupierre ont permis de maintenir le sol suffisamment humide et ainsi assurer le bon fonctionnement de cet outil. Une façon de contourner en partie le problème serait d'installer plus profondément les tensiomètres mais il faudr alors ajuster les consignes de déclenchement des irrigations.

Au cours des deux années d'essai, le sondes Watermark n'ont jamais demandé d'intervention particulière en cours de saison. Pour les raisons évoquées précédemment, et si la connaissance du potentiel matriciel est la méthode privilégiée par une entreprise qui produit des pommes de terre, la sonde Watermark peut s'avérer utile mais à condition d'établir des consignes adaptées à cet outil et idéalement d'effectuer un suivi parallèle avec un bilan hydrique par exemple.

Teneur en eau volumique

Au cours de la saison 2021, il a été possible de mesurer la teneur en eau volumique sur chacun des sites à l'aide la sonde FDR MEC20 (Gaspar Technologies) et de la sonde Soiltech (Soiltech).

Site Valupierre Bio

Les données de chacune des sondes ont été cumulées du début juillet au 4 septembre (Figure 15). Les valeurs obtenues avec les deux outils fluctuent bien au cours de la saison, en réponse aux conditions d'assèchement et de réhumectation.

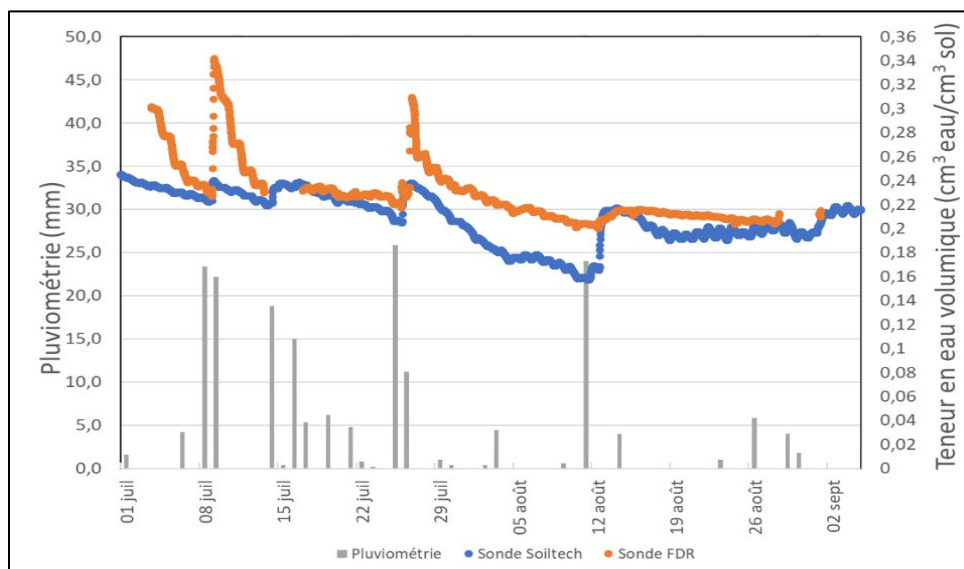


Figure 15. Évolution de la teneur en eau à 20 cm de profondeur du 1er juillet au 4 septembre 2021 au site Valupierre Bio avec les sondes FDR et Soiltech

Les valeurs ne sont pas les mêmes, cela pouvant s'expliquer que la technologie utilisée qui n'est pas la même et entre autres par le fait qu'elles n'étaient pas disposées de la même manière dans le sol et que même si elles sont installées dans le même environnement, les conditions de sol ne peuvent pas être exactement les mêmes près des deux sondes. Si on s'attarde à la fluctuation de la teneur en eau dans le temps et à la réponse en situation d'assèchement ou de pluie pour une période donnée, soit du 22 juillet au 15 août (Figure 16), les deux courbes sont presque parallèles. Par contre, il n'est pas possible d'estimer la justesse des valeurs cumulées car aucune détermination de la teneur en eau n'a été effectuée par une autre méthode comme la gravimétrie par exemple.

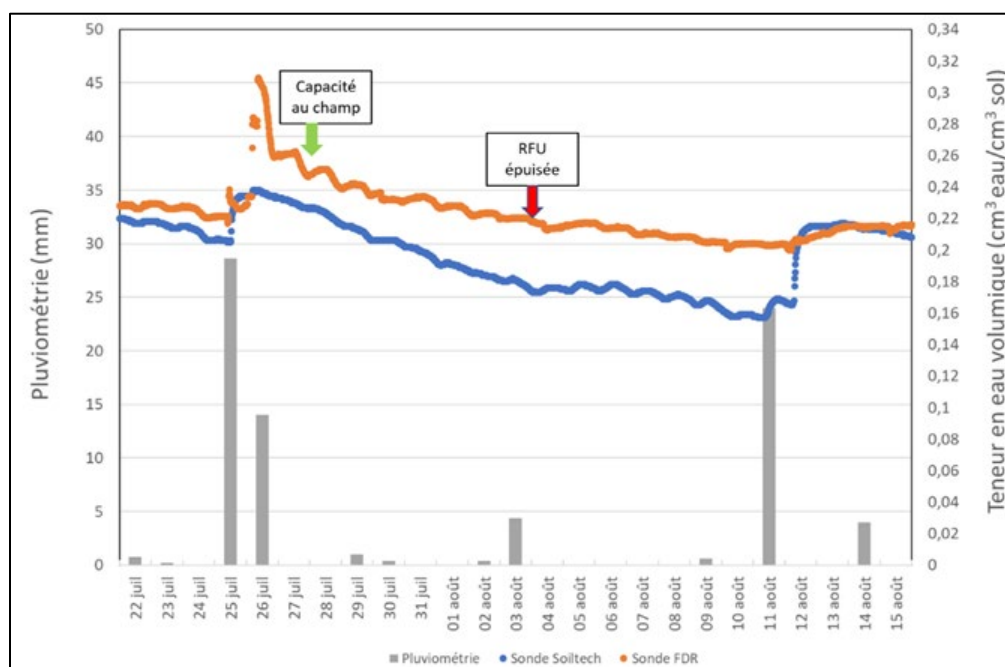


Figure 16. Évolution de la teneur en eau à 20 cm de profondeur du 22 juillet au 15 août 2021 au site Valupierre Bio avec les sondes FDR et Soiltech

Les deux sondes ont fourni des données différentes mais ce n'est peut-être pas tant la valeur absolue qui compte mais plutôt la fluctuation en cours de saison. Donc, bien que la valeur mesurée ne soit pas le reflet précis de la teneur en eau, il pourrait tout de même être possible d'utiliser les données pour la gestion de l'irrigation mais à condition de respecter certains principes. Une des approches pourrait être la suivante (exemple présenté à la Figure 17).

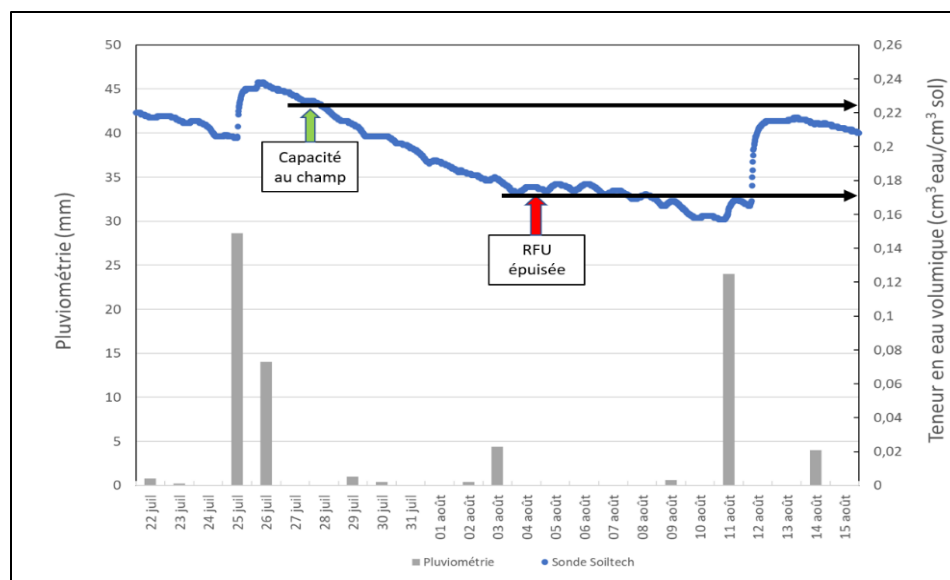


Figure 17. Exemple de détermination de la plage de teneur en eau à maintenir à partir des données de teneur en eau mesurées à 20 cm de profondeur du 22 juillet au 15 août 2021 au site Valupierre Bio avec la sonde Soiltech

Après une pluie importante ou un irrigation qui a rempli la réserve en eau utile du sol, il est possible d'évaluer la teneur en eau à capacité au champ qui s'observe 24 à 48 heures après l'évènement de pluie ou irrigation. Ensuite, par approche hybride en utilisant les valeurs de teneur en eau et du bilan hydrique, il est possible d'estimer à quel moment la réserve en eau facilement utilisable (RFU) est épuisée. Dans la présente situation, la RFU était épuisée en date du 11 août (données non présentées). Le taux de prélèvement confirme cet état hydrique du sol car à partir de cette date, la teneur en eau du sol diminue quotidiennement de façon moins importante qu'au cours des jours précédents. Il sera alors important de noter la teneur en eau mesurée par la sonde à ce moment.

La plage de teneur en eau à respecter pourrait être celle se situant entre la teneur à capacité au champ et celle où la RFU est épuisée. Dans l'exemple de la Figure 16 avec la sonde Soiltech, la teneur en à capacité au champ serait de $0,225 \text{ cm}^3 \text{ eau/cm}^3 \text{ sol}$ et le point où la RFU est épuisée de $0,17 \text{ cm}^3 \text{ eau/cm}^3$. Il est important de préciser que ces valeurs ne sont valides que pour un type de sonde et pour un champ et une année donnés. Aussi, cette approche n'est fournie qu'à titre indicatif pour une entreprise qui déciderait d'utiliser ce type de sondes. Elle devra être appuyée par de la recherche et des essais à la ferme pour bien mesurer son impact sur les rendements et la qualité et sur les pertes d'eau par lessivage. Aussi, cette approche devra aussi être refaite à chaque année pour chaque champ qui fait l'objet d'un suivi.

Site Valupierre

Les données cumulées pour les deux sondes FDR et Soiltech sont présentées à la Figure 18. Comme pour le site Valupierre Bio, les deux types de sondes n'indiquent pas les mêmes valeurs mais leur fluctuation est relativement semblable. Les sondes ont démontré une bonne réponse aux apports par la pluie et ou l'irrigation.

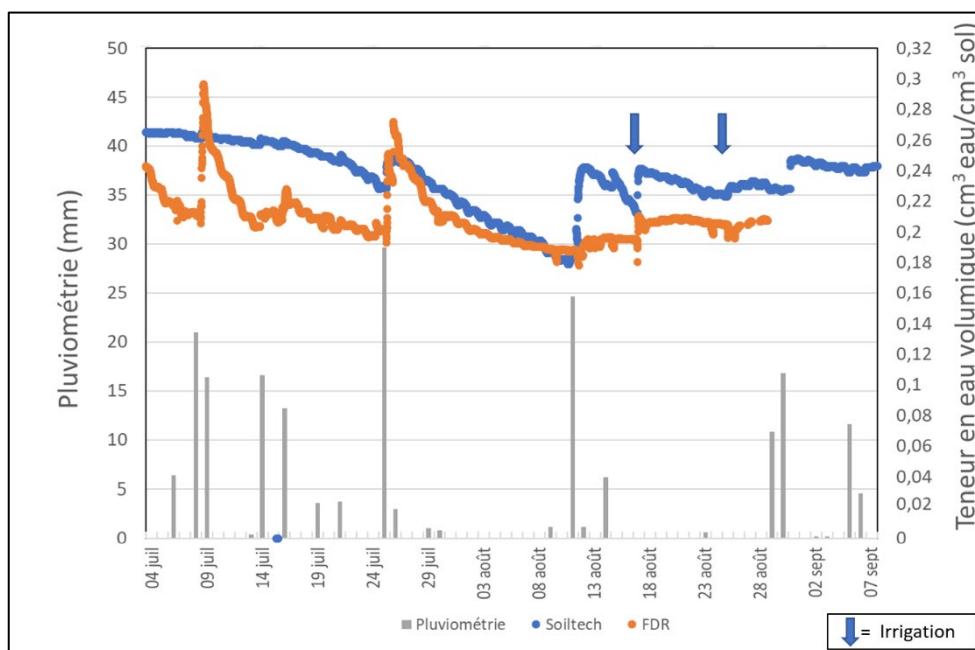


Figure 18. Évolution de la teneur en eau à 20 cm de profondeur du 4 juillet au 7 septembre 2021 au site Valupierre avec les sondes FDR et Soiltech

Un suivi en parallèle avec un bilan hydrique a permis d'estimer que la RFU était épuisée en date du 4 août. Tel que présenté à la section précédente, il serait possible de déterminer une plage de teneur en eau à maintenir à partir des données des sondes et du bilan hydrique (Figure 19).

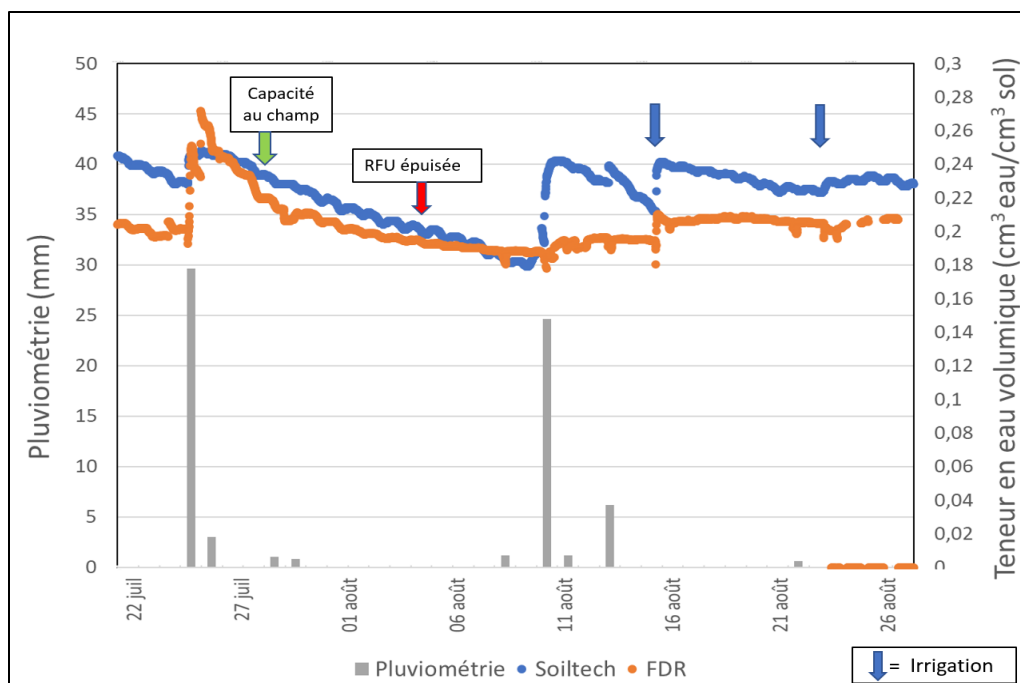


Figure 19. Évolution de la teneur en eau à 20 cm de profondeur du 22 juillet au 15 août 2021 au site Valupierre Bio avec les sondes FDR et Soiltech

Comme pour les résultats du site précédent, les résultats démontrent qu'il pourrait être possible pour certaines entreprises d'utiliser ces outils pour la gestion de l'irrigation mais non sans considérer certains facteurs. Ainsi, la teneur en eau à capacité au champ et lorsque la RFU est épuisée devront être établies pour chaque année et chaque champ. Il ne sera pas possible, comme dans le cas des tensiomètres par exemple, de se référer à des consignes émanant de résultats de recherche pour déterminer la plage de teneur en eau à respecter; ce sera à recommencer à chaque année.

CONCLUSION

Pour des entreprises qui produisent des pommes de terre dans un contexte de ressources hydriques et matérielles limitées, les tensiomètres qui se déchargent à des potentiels matriciels de - 80 kPa ne sont pas toujours bien adaptés à leur situation. Dans un tel contexte, ils doivent souvent être rechargés à plusieurs reprises en saison et des données ne sont ainsi pas disponibles pour des périodes plus ou moins longues. Les résultats du présent projet ont démontré que d'autres outils de suivi pouvaient à tout le moins être mis à l'essai dans un contexte de production.

Les sondes Watermark pourraient être une solution de rechange mais malgré que les valeurs obtenues soient exprimées en potentiel matriciel, les consignes qui ont été établies avec des tensiomètres ne peuvent s'appliquer sans utiliser un facteur de correction. Les résultats ont démontré qu'il existe une relation entre les données des tensiomètres et de la sonde Watermark mais celle-ci nécessiterait des travaux additionnels afin de la préciser.

Quant aux sondes de teneur en eau mises à l'essai, elles ont démontré qu'elles pouvaient être intéressantes mais il est important de considérer que l'expérimentation n'a été réalisée qu'au cours d'une seule saison et qu'il faudra poursuivre les travaux pour conclure. Aussi, les deux types de sondes ne fournissent pas les mêmes valeurs pour un même site et ces valeurs n'ont pas été corroborées avec d'autres méthodes, comme la gravimétrie. Dans un contexte de production, ce ne serait donc pas la valeur comme telle qui serait à considérer mais davantage les fluctuations de celle-ci. Leur utilisation exige une interprétation juste des valeurs mesurées ainsi qu'un suivi et une détermination de la plage de teneur en eau qui sera à élaborer à chaque année et pour chaque champ.

ÉQUIPE DE RÉALISATION DU PROJET

Daniel Bergeron, agr., M.Sc., consultant en irrigation
Philippe-Antoine Taillon, agr. à la DRCNCA du MAPAQ
Alexandra Bédard, étudiante à la DRCNCA du MAPAQ
Stéphanie Vaillancourt, agr. à la Ferme Valupierre inc. et Valupierre Bio S.E.N.C

COLLABORATEURS

Steeves, Fons de Gaspar Technologies Inc.
Ehsan Soltan de Soiltech Wireless Inc.

REMERCIEMENTS

Ce projet est réalisé grâce à une aide financière accordée par le Programme d'appui au développement de l'agriculture et de l'agroalimentaire en région (PADAAR).

Les lecteurs qui souhaitent obtenir des informations concernant ce rapport peuvent s'adresser à :

Philippe-Antoine Taillon, agronome
Conseiller en cultures horticoles en serre

MAPAQ | Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec
Direction régionale de la Capitale-Nationale et de la Chaudière-Appalaches
1685 boulevard Wilfrid-Hamel bureau 140
Québec (Québec) G1N 3Y7
Téléphone : (418) 643-0033 poste 1557
Cellulaire : (418) 420-0129
Télécopieur : (418) 644-0263
philippe.antoine.taillon@mapaq.gouv.qc.ca

BIBLIOGRAPHIE

- Ben Nouna, B., Zairi, A., Ruelle, P., Slatni, A., Yacoubi, S., Ajmi, T., Oueslati, T. 2004. Evaluation de la demande en eau et pilotage de l'irrigation déficitaire des cultures annuelles: méthodologie et outils de mesure. Actes du Séminaire Modernisation de l'Agriculture Irriguée, du 19 au 23 avril 2004. Rabat, Maroc.
- Bergeron, D. 2010. Régie de l'irrigation goutte à goutte dans la production de fraises à jours neutres au Québec. Faculté des Sciences de l'Agriculture et de l'Alimentation – Département des sols et Environnement. Université Laval, Québec. 58 p.
- Boivin, C. et coll. 2018. Gestion raisonnée de l'irrigation- Guide technique. Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec. 312 p.
- BPR Groupe-Conseil. 2003. Analyse des questions d'approvisionnement en eau pour le secteur de l'agriculture. PAECQ. Rapport final. 68 p.
- Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec, 2003. Détermination de la granulométrie dans les sols agricoles et les sédiments : méthode Bouyoucos, MA. 205 – GRA 1.0, Ministère de l'Environnement du Québec, 16 p.
- Groupe de travail sur la classification des sols. 1998. The Canadian system of soil classification. Agriculture et Agroalimentaire Canada, 3e édition, Publication 1646. 187 p.
- C. C. Shock, J. M. Barnum and M. Seddigh, Calibration of Watermark Soil Moisture Sensors for Irrigation Management, Proceedings of the International Irrigation Show, San Diego, 1-3 Novembre 1998, pp. 139-146.
- Soltan, Ehsan, communication personnelle, 28 février 2022