

Rapport final

Projet IA219136

Améliorer l'efficacité de l'utilisation de l'eau dans la pomme de terre en intervenant dans l'architecture du système cultural

Carl Boivin et Jérémie Vallée

Collaborateurs : Philippe Parent, Juliette Lévesque et Philippe-Antoine Taillon

Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA)

15 octobre 2021

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

Carl Boivin

Régie de l'eau en productions végétales

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

Vincent Pelletier

Directeur adjoint R-D – Pôle Pratiques agricoles

Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA)

2700, rue Einstein, Québec (Québec) G1P 3W8

vincent.pelletier@irda.qc.ca

418 643-2380, poste 630

Section 2 - Partenaires

Nous voulons remercier Patates Dolbec pour son implication financière et dans la réalisation de ce projet. Nous souhaitons également remercier Daniel Bergeron qui a participé au montage de ce projet

Équipe de réalisation

- IRDA : Carl Boivin, Jérémie Vallée, Antoine Lamontagne et Michèle Grenier
- DRCN du MAPAQ : Philippe-Antoine Taillon
- Patates Dolbec : Philippe Parent et Juliette Lévesque

Fiche de transfert

Améliorer l'efficacité de l'utilisation de l'eau dans la pomme de terre en intervenant dans l'architecture du système cultural

Carl Boivin et Jérémie Vallée

Collaborateurs : Philippe Parent, Juliette Lévesque et Philippe-Antoine Taillon

No de projet : IA219136

Durée : 06/2019 – 10/2021

FAITS SAILLANTS

Un système cultural typique pour la pomme de terre, avec et sans irrigation, a été comparé à un système cultural où l'architecture des buttes a été modifiée (Butte 2.0), lui aussi avec et sans irrigation. Les interventions avaient comme objectif d'augmenter la proportion du système cultural qui peut être qualifiée de carrefour de prélèvement en eau et en éléments nutritifs. Les conditions météorologiques de la saison 2020 ont été davantage propices au stress hydrique que celles de la saison 2019. Au 28 juillet 2020, où la totalité des 62 mm apportés par l'irrigation avait été effectué, le poids en matière sèche des parties aériennes de la variété Superior a significativement été supérieur de près de 30 % en conditions irriguées. Il y a généralement une relation positive entre le poids en biomasse aérienne et le rendement (pondéral) en tubercules. Toutefois, le début du dépérissement de la culture constaté à la fin juillet a empêché de valider l'impact des traitements sur le rendement en tubercules.

La hauteur d'eau retenue par les deux systèmes culturaux, en post précipitations, a été comparée et elle est plus élevée avec la Butte 2.0. Le gain pourrait répondre aux besoins en eau d'une journée pour une culture à son plein développement, selon l'ampleur de l'apport. Les deux systèmes ont aussi fait l'objet d'un suivi qui permet de constater une contrainte de prélèvement en eau pour la culture. La performance des deux systèmes a été semblable, à savoir que la contrainte de prélèvement a été constatée au même moment. Cette évaluation n'a pu être réalisée qu'entre le 12 et le 15 juillet 2020. À ce moment la colonisation de l'entre-rang par les racines est toujours en cours, ce qui implique un prélèvement en eau qui est inférieur au potentiel maximal.

Un renchaussage de type « Butte 2.0 » implique d'apporter des modifications relativement mineures à la machinerie. Ces modifications réduisent le travail du sol pour un entre-rang sur deux, ce qui permet de renchausser en utilisant moins d'énergie ou en augmentant la vitesse de travail. La capacité effective du renhausseur utilisé (Grimme GH 6) en 2019 est passé de 4,0 ha/h « Conventionnel » à 4,4 ha/h en mode « Butte 2.0 », soit une augmentation de 10 %.

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) Augmenter le nombre de jours sans stress hydrique à la suite d'un épisode de pluie ou d'irrigation; 2) Augmenter le rendement en tubercules produits par unité de surface; 3) Améliorer l'efficacité d'utilisation de l'eau provenant des précipitations et de l'irrigation; et 4) Analyser le potentiel de rentabilité d'intervenir de la sorte.

MÉTHODOLOGIE

Les essais ont été réalisés en 2019 et 2020 chez Patates Dolbec à Saint-Ubalde. Un système cultural typique du secteur de la production de pommes de terre a été modifié afin d'augmenter la

proportion de celui-ci qui peut être qualifié de carrefour de prélèvement en eau et en éléments nutritifs. La principale modification a impliqué de combler un entre-rang sur deux avec du sol (Butte 2.0) afin d'augmenter la capacité de rétention en eau du système cultural et de profiter de l'effet « parapluie » du plant pour alimenter en eau valorisable par la culture, le système cultural. Cette « nouvelle » zone a été formée lors du renchaussage, à un moment où le système racinaire est en mesure de coloniser cette dernière. Ce système modifié, avec et sans irrigation, a été comparé à un système conventionnel, lui aussi avec et sans irrigation. La consigne d'irrigation a été déterminée selon l'approche du « Point tournant ». Les 4 combinaisons (Architecture x Irrigation) ont été répétées 4 fois (Blocs) et assignées selon un dispositif en tiroirs (split-plot). L'architecture (Butte conventionnelle et Butte 2.0) a été assignée en parcelles principales et l'irrigation (Irrigué et Non irrigué), en sous-parcelles.

RÉSULTATS SIGNIFICATIFS POUR L'INDUSTRIE

Les conditions météorologiques de la saison 2020 ont été plus propices à ce que la culture subisse un stress hydrique que celles qui ont eu cours en 2019. Une méthode qui a été utilisée pour évaluer si le risque de subir un stress hydrique est plus faible avec la Butte 2.0 a été celle de comparer la hauteur d'eau retenue par les deux systèmes culturaux en post épisode de précipitations. Les trois épisodes qui ont été retenus sont ceux des 11, 17 et 19 juillet 2020. Ces épisodes ont eu lieu après la formation des Buttes 2.0 (30 juin) et avant la constatation du dépérissement du champ due à la verticilliose (fin juillet). Ces épisodes ont respectivement apporté 13,2, 17,6 et 24,8 mm d'eau avec une intensité maximale allant de 3,4 mm à 16,6 mm/h. De ces épisodes, il est resté davantage d'eau dans le système « Butte 2.0 », soit respectivement 2,2, 4,0 et 6,5 mm d'eau les 11, 17 et 19 juillet. Selon l'évapotranspiration de la culture (ET_c) de la journée, cette différence pourrait représenter jusqu'à une journée d'autonomie supplémentaire pour une culture à plein développement où l'enracinement est optimal. Cependant, au plus 64 % de l'apport total d'eau provenant d'un épisode de précipitation a été retrouvé dans l'environnement colonisable par les racines. Certaines zones de sol, comme celle de l'entre-rang deviennent saturées en eau plus rapidement que d'autres. En effet, une proportion de la pluie est détournée dans l'entre-rang par l'effet parapluie du plant de pommes de terre et la forme de la butte conventionnelle. Le sol situé dans cette zone reçoit davantage de pluie avec un volume de sol plus faible, dans un contexte de « Butte conventionnelle ». Cette zone devient alors saturée plus rapidement et cette situation augmente le risque que l'eau atteigne et dépasse la limite inférieure du système racinaire. La Butte 2.0 vise justement à augmenter le volume de sol présent dans un entre-rang sur deux afin de profiter de ce détournement d'eau.

Une autre méthode qui a été utilisée est celle d'évaluer si l'intensité du risque que la culture subisse une contrainte de prélèvement en eau est différente d'un système cultural à l'autre. Une contrainte de prélèvement a été constatée pour les deux systèmes. La démonstration précédente, à savoir la plus grande autonomie avec la Butte 2.0, n'a pas pu être validée avec des mesures de contrainte de prélèvement. La seule période où une telle évaluation a pu être réalisée est celle comprise entre le 12 et le 15 juillet 2020. À ce moment le développement des racines dans l'entre-rang est en cours de colonisation. Par conséquent, les prélèvements en eau dans ces zones sont inférieurs et ne peuvent pas participer autant à la nutrition hydrique de la culture.

En 2019, il n'y a eu aucun impact de l'irrigation ou de l'architecture de la butte sur le rendement en tubercules ou encore, sur le poids en matières sèches des plants de la variété Roko. De meilleures conditions de rétention en eau du sol semblent toutefois avoir eu un impact sur le

rendement. Sans égard aux traitements, le rendement des parcelles a été regroupé selon la zone utilisée pour la caractérisation du sol. Mis en relation avec la proportion de limon mesurée, le rendement semble être plus élevé où la proportion de limon est plus élevée. En 2020, le poids en matière sèche des plants a été mesuré le 28 juillet, soit à un moment qui succède les quatre épisodes d'irrigation. La différence observée a été en faveur de l'irrigation et sans égard à l'architecture des buttes. La saison a donc été favorable à ce que la culture subisse un stress hydrique qui a eu un impact à la baisse sur la production de biomasse aérienne de la variété Superior. Il y a généralement une relation positive entre le poids en biomasse aérienne et le rendement (pondéral) en tubercules. Toutefois, le début de dépérissement de la culture constaté à la fin juillet empêche de valider l'impact sur le rendement en tubercules.

En considérant que le potentiel de rétention en eau est supérieur avec la Butte 2.0 et l'absence de différence significative sur le poids en biomasse aérienne attribuable à l'architecture de la butte, cela impliquerait une efficacité d'utilisation en eau plus faible. Toutefois, la colonisation de la zone « additionnelle » de sol n'était pas optimale à ce moment dans l'entre-rang.

Un renchaussage de type « Butte 2.0 » implique d'apporter des modifications relativement mineures à la machinerie. En réduisant le travail de sol à raison d'un entre-rang sur deux, le renchaussage peut être effectué en utilisant moins d'énergie ou bien être effectué plus rapidement en augmentant la vitesse de travail. La capacité effective du renhausseur utilisé (Grimme GH 6) en 2019 est passé de 4,0 ha/h en mode conventionnel à 4,4 ha/h en mode « Butte 2.0 », soit une augmentation de 10 %. Cette économie de temps en ressources humaines pourrait être valorisée à d'autres tâches.

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

L'intensité du risque de stress hydrique auquel une entreprise spécialisée dans la production de pommes de terre est exposée dépend de plusieurs facteurs. Parmi ceux-ci il y a le cultivar, le stade de développement de la culture, l'enracinement, le sol, les conditions météorologiques ou encore la possibilité ou non d'intervenir avec l'irrigation. Les résultats de ce projet ont démontré qu'il est pertinent de s'intéresser à l'architecture du système cultural de la pomme de terre en y intervenant pour augmenter la proportion de celui-ci qui peut être qualifié de carrefour de prélèvement en eau et en éléments nutritifs. Tout comme la performance d'un système conventionnel, celui de la Butte 2.0 demeure entre autres tributaire d'un enracinement optimal et d'apports ponctuels en eau via les précipitations et/ou l'irrigation. L'adoption de cette architecture ne demande que des modifications relativement mineures à la machinerie existante et un renchaussage plus hâtif. Il serait judicieux de réaliser d'autres essais pour valider et améliorer la performance de ce système cultural avec d'autres cultivars de pommes de terre, d'autres contextes pédologiques et des stratégies de fertilisation et ainsi, tirer le maximum de bénéfices de cette zone de sol qui est avantageusement à la portée des précipitations, de l'irrigation et surtout de la culture.

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.

Nous voulons aussi remercier Patates Dolbec pour son implication financière et dans la réalisation de ce projet.

Section 4 - Activité de transfert et de diffusion scientifique

Section 5 - Activités de diffusion et de transfert aux utilisateurs

Colloque sur l'irrigation - 2021 (CRAAQ)

« Irrigation et recherche chez Patates Dolbec : les défis d'aujourd'hui et de demain »

Conférence

24 et 25 février

Section 6 – Grille de transfert des connaissances

1. Résultats Présentez les faits saillants (maximum de 3) des principaux résultats de votre projet.	2. Utilisateurs Pour les résultats identifiés, ciblez les utilisateurs qui bénéficieront des connaissances ou des produits provenant de votre recherche.	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.?	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.
Les résultats du projet ont démontré qu'il est pertinent de s'intéresser à l'architecture du système cultural en y intervenant pour augmenter la proportion de celui-ci qui peut être qualifié de carrefour de prélèvement en eau et en éléments nutritifs.	Producteurs de pommes de terre Conseillers agricoles	La quantité d'eau retenue par le système cultural qui a un potentiel d'être valorisée par la culture est augmentée. Favorable à la diminution du risque de perte en eau hors de portée du système racinaire. La capacité effective du renchausseau est augmentée. Aucun n'impact négatif sur le rendement.	a) Conférences b) Poursuivre ce type d'essais avec un plus grand nombre de contextes pédologiques et de cultivars et.
Les interventions proposées ne demandent que des modifications mineures à la machinerie utilisée actuellement lors du renchaussage.	Producteurs de pommes de terre	L'entreprise qui souhaite mettre à l'essai les interventions proposées peut facilement y parvenir en apportant des modifications mineures à la machinerie existante.	a) Conférences b) Publication écrite

Section 7 - Contribution et participation de l'industrie réalisées

Patates Dolbec s'est impliquée financièrement dans le projet. De plus, cette dernière s'est impliquée dans la modification de la machinerie lors des essais de buttage. Ainsi, l'entreprise a modifié et ajusté deux types de renhausseur lors de la durée des essais.

Section 8 – Rapport scientifique et/ou technique

Rapport final

Projet : IA219136

Améliorer l'efficacité de l'utilisation de l'eau dans la pomme de terre en intervenant dans l'architecture du système cultural

Carl Boivin et Jérémie Vallée

Collaborateurs : Philippe Parent, Juliette Lévesque et Philippe-Antoine Taillon

Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA)

15 octobre 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.

Nous voulons aussi remercier Patates Dolbec pour son implication financière et dans la réalisation de ce projet. Nous souhaitons également remercier Daniel Bergeron qui a participé au montage de ce projet.

Équipe de réalisation

- IRDA : Carl Boivin, Jérémie Vallée, Antoine Lamontagne et Michèle Grenier
- DRCN du MAPAQ : Philippe-Antoine Taillon
- Patates Dolbec : Philippe Parent et Juliette Lévesque

RÉSUMÉ

Un système cultural qui est typique pour la pomme de terre a été modifié afin d'augmenter la proportion de celui-ci qui peut être qualifié de carrefour de prélèvement en eau et en éléments nutritifs. La principale modification a impliqué de combler un entre-rang sur deux avec du sol (Butte 2.0) afin d'augmenter la capacité de rétention en eau du système cultural et de profiter de l'effet « parapluie » du plant pour alimenter en eau valorisable par la culture, le système cultural. Cette « nouvelle » zone a été formée lors du renchaussage, à un moment où le système racinaire est en mesure de coloniser cette dernière. Ce système modifié, avec et sans irrigation, a été comparé à un système conventionnel, lui aussi avec et sans irrigation.

La hauteur d'eau retenue par les deux systèmes culturaux, en post précipitations, a été comparée et cette dernière est plus élevée avec la Butte 2.0. Le gain pourrait répondre aux besoins en eau d'une journée pour une culture de pommes de terre à son plein développement, selon l'ampleur de l'apport. Les deux systèmes ont aussi fait l'objet d'un suivi qui permet de constater une contrainte de prélèvement en eau pour la culture. La performance de ces deux systèmes a été semblable, à savoir que la contrainte de prélèvement a été constatée au même moment. Cette évaluation n'a pu être réalisée qu'entre le 12 et le 15 juillet 2020. À ce moment la colonisation de l'entre-rang par les racines est toujours en cours, ce qui implique un prélèvement en eau qui est inférieur au potentiel maximal.

En 2019, il n'y a eu aucun impact de l'irrigation ou de l'architecture de la butte sur le rendement en tubercules ou encore, sur le poids en matières sèches des plants de la variété Roko. En 2020, le poids en matière sèche des plants a été mesuré le 28 juillet, soit à un moment qui succède les quatre épisodes d'irrigation. La différence observée a été en faveur de l'irrigation, sans égard à l'architecture des buttes. La saison a donc été favorable à ce que la variété Superior subisse un stress hydrique. Il y a généralement une relation positive entre le poids en biomasse aérienne et le rendement (pondéral) en tubercules. Toutefois, le début du dépérissement de la culture constaté à la fin juillet a empêché de valider l'impact des traitements sur le rendement en tubercules.

Un renchaussage de type « Butte 2.0 » implique d'apporter des modifications relativement mineures à la machinerie. Ces modifications réduisent le travail du sol sur un entre-rang sur deux permettent de renchausser en utilisant moins d'énergie ou en augmentant la vitesse de travail. Selon les essais effectués la capacité effective du renhausseur utilisé (Grimme GH 6) en 2019 est passé de 4,0 ha/h en mode conventionnel à 4,4 ha/h en mode « Butte 2.0 », soit une augmentation de 10 %.

TABLE DES MATIÈRES

1	Introduction et contexte	7
2	Objectifs	9
3	Méthodologie.....	10
3.1	Sites expérimentaux	10
3.2	Régie de culture.....	10
3.3	Traitements.....	10
3.3.1	Architecture du système cultural	10
3.3.1.1	Description des zones de sol.....	10
3.3.1.2	Interventions réalisées en 2019	11
3.3.1.3	Interventions réalisées en 2020	11
3.3.2	Irrigation	11
3.4	Dispositifs expérimentaux et analyses statistiques	12
3.5	Paramètres mesurés.....	15
3.5.1	Propriétés physico-chimiques du sol.....	15
3.5.2	Conditions météorologiques, évapotranspiration potentielle (ET _p) et degrés-jours	15
3.5.3	Évapotranspiration de la culture, stress hydrique et hauteur d'eau retenue par le système cultural	16
3.5.3.1	Installation et utilisations des sondes TDR	16
3.5.3.2	Évapotranspiration de la culture	18
3.5.3.3	Hauteur d'eau retenue par le système cultural	19
3.5.4	Développement de la culture.....	19
3.5.5	Matière sèche des parties aériennes.....	19
3.5.6	Récolte des tubercules.....	20
4	Résultats	21
4.1	Propriétés physico-chimiques du sol.....	21
4.2	Précipitations totales, évapotranspiration potentielle (ET _p) et degrés-jours	21
4.3	Régie d'irrigation.....	25
4.4	Stress hydrique	26
4.5	Hauteur d'eau retenue par le système cultural	27
4.6	Suivi de la culture.....	34
4.6.1	Poids en matière sèche des parties aériennes des plants	34
4.6.2	Dépérissement de la culture.....	35
4.6.3	Rendements en tubercules.....	37
5	Analyse et discussion selon les objectifs.....	39
5.1	Augmenter le nombre de jours sans stress hydrique à la suite d'un épisode de pluie ou d'irrigation	39
5.2	Augmenter le rendement en tubercules produits par unité de surface.....	40
5.3	Améliorer l'efficacité d'utilisation de l'eau provenant des précipitations et de l'irrigation	41
5.4	Analyser le potentiel de rentabilité d'intervenir de la sorte	41
6	Conclusion.....	42
7	Références	43
8	Annexe	44

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Caractérisation du sol en 2019.....	21
Tableau 2. Caractérisation du sol en 2020.....	21
Tableau 3. Hauteur et volume d'eau par épisode (s) d'irrigation(s) selon la date de l'apport – 2019.	25
Tableau 4. Hauteur et volume d'eau par épisode d'irrigation selon la date de l'apport – 2020.	25
Tableau 5. Poids en matières sèches des parties aériennes des plants de pommes de terre - Saisons 2019 et 2020.	34
Tableau 6. Poids en matières sèches des parties aériennes en g/4plants (2019) et g/5 plants (2020).....	34
Tableau 7. Analyse de la variance des variables ayant trait au rendement – Saisons 2019 et 2020.	37
Tableau 8. Rendement total et vendable en tubercules ainsi que le nombre moyen et le poids moyen de ces derniers – Saisons 2019 et 2020.	37

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Schématisation du façonnement de la butte 2.0.	10
Figure 2. Schéma du dispositif expérimental - Saison 2019.	13
Figure 3. Schéma du dispositif expérimental - Saison 2020.	14
Figure 4. Une parcelle « Butte conventionnelle » instrumentée à la suite du renchaussage le 30 juin 2020.	16
Figure 5. Portée des 4 sondes TDR représentée par un cadre sur une coupe transversale d'une Butte conventionnelle le 28 juillet 2020.	17
Figure 6. Portée des 4 sondes TDR représentée par un cadre sur une coupe transversale d'une Butte 2.0 le 28 juillet 2020.	17
Figure 7. Schématisation de situations où une contrainte de prélèvement en eau est peu ou fort probable.	18
Figure 8. Pluviométrie quotidienne et cumulative (mm), du 1 ^{er} juin au 27 septembre 2019.	22
Figure 9. Pluviométrie quotidienne et cumulative (mm), du 19 mai et 26 août 2020.	22
Figure 10. Évapotranspiration potentielle quotidienne et cumulative (mm), du 1 ^{er} juin au 27 septembre 2019.	23
Figure 11. Évapotranspiration potentielle quotidienne et cumulative (mm), du 19 mai au 26 août 2020.	23
Figure 12. Degrés-jours en base 5 °C quotidiens et cumulatifs, du 1 ^{er} juin au 27 septembre 2019.	24
Figure 13. Degrés-jours en base 5 °C quotidiens et cumulatifs, du 19 mai au 26 août 2020.	24
Figure 14. Évapotranspiration de la culture (ET_{c-TDR}) (mm) et évapotranspiration potentielle (ET_p) (mm) du 12 au 15 juillet 2020.	26
Figure 15. Précipitations cumulées (mm) sur une base horaire pour le 11 juillet 2020.	27
Figure 16. Précipitations cumulées (mm) sur une base horaire pour le 17 juillet 2020.	28
Figure 17. Précipitations cumulées (mm) sur une base horaire pour le 19 juillet 2020.	28
Figure 18. Estimation de la hauteur d'eau retenue par le sol (mm) selon la zone, en post épisode de précipitations du 11 juillet 2020.	29
Figure 19. Estimation de la hauteur d'eau retenue par le sol (mm) selon la zone, en post épisode de précipitations du 17 juillet 2020.	30
Figure 20. Estimation de la hauteur d'eau retenue par le sol (mm) selon la zone, en post épisode de précipitations du 19 juillet 2020.	31
Figure 21. Hauteur d'eau moyenne estimée (mm) et pluviométrie (mm) par date et par type de butte.	32
Figure 22. Évolution de la teneur en eau volumique (cm^3 eau/ cm^3 sol) dans l'ER des parcelles 5 et 11 (Buttes 2.0) et des parcelles 7 et 11 (Buttes conventionnelles), en contexte non irrigué en 2020.	33
Figure 23. Dépérissement des plants au 3 août 2020.	35
Figure 24. Brunissement des vaisseaux de la tige.	36
Figure 25. Rendement total moyen en tubercules (t/ha) selon la proportion de limon mesurée dans la zone considérée – Saison 2019.	38
Figure 26. Renhausseur Grimme GH6 à 6 rangs non modifié, saison 2019.	44
Figure 27. Renhausseur Grimme GH6 à 6 rangs modifié, saison 2019.	45
Figure 28. Dents incurvées du renhausseur Grimme 6 rangs, saison 2019.	46
Figure 29. Vibro-renhausseur Checchi & Magli, VR-76 Export, saison 2020.	47

1 Introduction et contexte

La pomme de terre est produite dans un sol qui est billonné ou butté. Cette configuration est favorable au réchauffement du sol au printemps, à la réduction du risque de verdissement des tubercules et facilite la récolte. La machinerie et les opérations culturales se sont développées autour de ce type de système cultural. L'une des plus vieilles techniques d'irrigation de surface pourrait aussi expliquer l'adoption de ce type de système cultural. En effet, avant le développement des systèmes d'irrigation actuels, l'irrigation à la raie était la technique la plus accessible (inondation des entre-rangs), car elle est relativement simple. Cette technique n'est pas utilisée au Québec.

Des projets réalisés au cours des dernières années par la Direction de la Capitale-Nationale du MAPAQ et l'IRDA ont clairement démontré que l'efficacité de l'eau provenant des précipitations ou appliquée par irrigation n'est pas optimale dans la production de la pomme de terre. C'est en prélevant l'eau que la culture peut extraire du sol les éléments nutritifs et les assimiler. Sachant qu'entre deux apports en eau, la culture doit combler ses besoins avec la réserve emmagasinée dans le sol, un bon enracinement est donc souhaitable.

Lors d'un apport d'eau provenant des précipitations ou d'une irrigation par aspersion, une proportion importante de l'eau est détournée vers le bas de la butte et l'entre-rang, au détriment du centre de la butte où est l'engrais, car ce système cultural est de type « parapluie ». Cela s'explique par l'architecture du plant et la configuration du sol. L'entre-rang est avantageusement alimenté en eau, surtout pour les 10 premiers mm d'un apport (Boivin et coll., 2016; Robinson, 1999 et Abram. 2011). L'eau détournée dans cette zone peut être disponible à la plante, mais pourrait profiter davantage au développement optimal de la culture. En conditions optimales, le sol, l'eau, les éléments nutritifs et les racines sont au même endroit et en quantité suffisante. Plus ce carrefour « sol-eau-éléments-racines » tant à occuper tout le système cultural, plus ce dernier devient efficace. Donc, la zone « Bas de la butte et entre-rang » aurait le potentiel d'être un carrefour de prélèvement.

Des projets où des interventions ont été faites pour augmenter la proportion qu'occupe le carrefour de prélèvement dans le système cultural ont été réalisés aux États-Unis et dans les Prairies canadiennes (Robinson, 1999 et Abram, 2011 et Bed planting for potatoes, 2013). Ces interventions se sont concentrées dans la confection de lit « Beds » de plantation où de 3 à 7 rangs de plants de pommes de terre y sont implantés. Ces lits demandent des modifications importantes à plusieurs équipements et l'acquisition de nouvelles machineries. De plus, ces lits sont formés dès la plantation et aucun renchaussage n'est effectué par la suite. Ces auteurs ont noté des augmentations de rendement, une efficacité d'utilisation de l'eau et de l'azote plus élevée et un plus grand potentiel de retenue de l'eau par le sol. Ils ont aussi rapporté que le coût conséquent à l'adoption de ces techniques est le principal facteur qui freine leur adoption. La distance entre les plantons sur le rang doit aussi être revue à la baisse. Aussi, comme le sol n'est pas renchaussé, le planton doit être semé plus profond. Avec les conditions printanières froides et humides du Québec, cette approche représente un risque important.

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, d'abord celle qui provient des précipitations et ensuite celle provenant de l'irrigation, lorsque ce type d'apport est justifié.

Modifier l'architecture du système cultural est le moyen qui a été retenu par ce projet pour améliorer l'efficacité d'utilisation de l'eau dans la production de pommes de terre et par conséquent, de diminuer le risque que la culture subisse un stress hydrique. Aussi, une meilleure efficacité d'utilisation de l'eau sera favorable à une meilleure efficacité d'utilisation de l'azote.

La principale modification qui a été ciblée implique de combler un entre-rang sur deux avec du sol (Butte 2.0) afin d'augmenter la capacité de rétention en eau valorisable du système cultural et de profiter de l'effet « parapluie » du plant pour y parvenir. Cette « nouvelle » zone est formée lors du renchaussage, à un moment où le système racinaire est en mesure de coloniser cette zone.

Ce système modifié, avec et sans irrigation, a été comparé à un système conventionnel, lui aussi avec et sans irrigation. Ces essais ont été réalisés en 2019 et 2020 en conditions de productions commerciales chez Patates Dolbec.

2 Objectifs

Général

Améliorer l'efficacité de l'utilisation de l'eau dans la pomme de terre.

Spécifiques

- 1) Augmenter le nombre de jours sans stress hydrique à la suite d'un épisode de pluie ou d'irrigation.
- 2) Augmenter le rendement en tubercules produits par unité de surface.
- 3) Améliorer l'efficacité d'utilisation de l'eau provenant des précipitations et de l'irrigation.
- 4) Analyser le potentiel de rentabilité d'intervenir de la sorte.

3 Méthodologie

3.1 Sites expérimentaux

Les essais ont été réalisés en conditions de productions commerciales de pommes de terre chez l'entreprise Patates Dolbec qui est située à Saint-Ubalde dans la MRC de Portneuf (Capitale-Nationale). Les coordonnées géographiques des deux champs utilisés pour les essais sont respectivement 46°45.393'N, 72°19.812'O et 46°45.146'N, 72° 15.770'O pour 2019 et 2020.

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 Architecture du système cultural

3.3.1.1 Description des zones de sol

CENTRALE : Zone au centre de la butte où l'on retrouve le planton et l'engrais appliqué à la plantation. Cette zone est la première qui est colonisée par les racines. Une fois asséchée par le prélèvement en eau de la culture, cette zone est plus difficile à réhumecter que les autres zones.

PÉRIPHÉRIQUE : Zone au pourtour de la zone centrale dont la surface est exposée à l'air. Cette zone est « renouvelée » lors du renchaussage où son volume est alors augmenté. Cette zone s'assèche rapidement et devient souvent hydrophobe et peu intéressante pour les racines et par conséquent, elle participe peu à la nutrition hydrique et minérale de la culture.

ADDITIONNELLE : Cette « nouvelle » zone n'existe pas actuellement dans un système cultural représentatif de celui de la pomme de terre et s'ajoutera aux autres lors du renchaussage. Elle occupera une proportion de l'espace de l'entre-rang qui est « vide » à raison d'un entre-rang sur deux. Dans ce système, les buttes sont en quelque sorte fusionnées par groupe de deux. Le sol utilisé pour aménager cette zone est récupéré des côtés opposés à la zone « additionnelle » (Figure 1).



Figure 1. Schématisation du façonnement de la butte 2.0.

3.3.1.2 Interventions réalisées en 2019

Les Buttes 2.0 ont été façonnées le 11 juillet au moyen d'un sarcleur modifié (Figure 26 et Figure 27). La modification du sarcleur s'est effectuée en retirant les parties qui forment la configuration finale de la butte. Cette partie a été retirée aux endroits où une Butte 2.0 était attendue. Ce type de renhausseur (GH6, Grimme) travaille également le sol au moyen de dents incurvées avant le renhaussement final de la butte (Figure 28). Ces dents ont été conservées à l'endroit où se situe l'entre-rang de la Butte 2.0 afin de s'assurer que le sol dans cette zone soit meuble et que les conditions y soient favorables à la croissance racinaire. Ainsi, pour chaque passage de 6 rangs, 3 entre-rangs avec Butte 2.0 ont pu être formés, soit entre le 1^e et 2^e rang, entre le 3^e et 4^e rang et entre le 5 et 6^e rang.

3.3.1.3 Interventions réalisées en 2020

En 2020, un autre type de renhausseur a été utilisé. Un vibro-renhausseur (VR-76 Export, Checchi & Magli), a été utilisé pour permettre une projection plus efficace du sol dans l'entre-rang de la Butte 2.0. Cette machinerie a été ajustée afin de maximiser la projection du sol. L'angle et le positionnement des disques et l'ajustement de la vitesse d'avancement ont été préalablement testés hors du dispositif. Les ajustements se sont faits par essais et erreurs jusqu'à ce que les réglages obtenus procurent les résultats attendus. Pour renhausser un multiple de 6 rangs, 2 passages ont été réalisés. Ainsi, les entre-rangs avec Butte 2.0 ont été formés entre le 2^e et 3^e rang et entre le 5^e et 6^e rang. Le renhaussement a été effectué le 30 juin.

3.3.2 Irrigation

En 2019, un système d'irrigation par goutte à goutte (Aquatraxx, Toro) a été installé à la suite du renhaussement. Le tube de goutte à goutte a été installé dans l'entre-rang du milieu (entre le 3^e et 4^e rang) des parcelles irriguées. Les goutteurs étaient espacés de 20,3 cm et le débit attendu de chacun d'eux était de 2,98 lph/m à 0,83 bar. Les volumes d'eau utilisés lors des irrigations ont été mesurés à l'aide d'un débitmètre (TX-81, Seametrics) 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 dans la conduite principale à l'aide d'un raccord en laiton calibré (coefficient K connu).

En 2020, l'irrigation des parcelles a été effectuée au moyen d'un gicleur installé au centre de celles-ci (Xcel-Wobbler, Senninger). Ce dernier avait un débit de 6 mm/h. L'espacement entre les gicleurs était suffisant pour éviter toute interaction avec une autre parcelle. Le suivi des volumes d'eau utilisés lors des irrigations a été effectué à l'aide d'équipements comparables à ceux utilisés en 2019. Les lectures du débitmètre ont également été enregistrées chaque minute et ont aussi été calibrées à l'aide d'un raccord en laiton calibré (coefficient K connu). Le système d'irrigation a été fonctionnel à partir du 30 juin.

La consigne de déclenchement de l'irrigation a été établie à l'aide du Point tournant (PT) (Boivin et coll., 2018). Ce point, qui est spécifique à chaque système cultural, a été identifié en observant l'évolution du potentiel matriciel au champ avec des tensiomètres. L'observation débute à la suite d'un apport en eau qui ramène le sol à la capacité au champ. Un accroissement lent et uniforme du potentiel matriciel s'observe habituellement dans les jours qui suivent. Lorsque l'accroissement se fait plus rapide et important, il s'agit du PT. Pour ce projet, l'objectif poursuivi avec l'irrigation en a été un de confort hydrique, c'est-à-dire, intervenir juste avant que le plant subisse un stress hydrique. La consigne a été établie à 35-40 kPa en 2019 et à 25-30 kPa en 2020. Cependant, un épisode d'irrigation était déclenché à des valeurs légèrement supérieures afin de pouvoir valider si la Butte 2.0 permettait d'avoir une meilleure autonomie en eau que la Butte conventionnelle. En 2019, la durée ciblée d'un épisode d'irrigation a été fixée à 45 minutes (goutte à goutte), alors qu'elle a été de 180 minutes en 2020 (aspersion).

3.4 Dispositifs expérimentaux et analyses statistiques

En 2019 et 2020, le dispositif a été en split-plot où le traitement « Architecture du système cultural » (Butte 2.0 et Butte conventionnelle ou 2.0 et CV) a été en parcelles principales arrangées en blocs aléatoires complets et le traitement « Irrigation » (Irrigué et Non irrigué ou I et NI) a été attribué de façon aléatoire aux sous-parcelles. L'ensemble des plantons ont été mis en terre le 1^{er} juin 2019 (Roko) et le 19 mai en 2020 (Superior). Une unité expérimentale était composée de 6 rangs de large, chacun d'une longueur de 100 m. Chacun des 4 blocs était composé de 4 unités expérimentales. Un schéma du dispositif est respectivement présenté à la Figure 2 et à la Figure 3, pour 2019 et 2020.

Un modèle linéaire mixte a été appliqué pour l'analyse de variance des variables de rendements (PROC MIXED de SAS, version 9.4). Les effets fixes du modèle sont l'Architecture, l'Irrigation et l'interaction entre ces deux facteurs. Les effets aléatoires sont les blocs et l'interaction Bloc x Architecture. Les tests de F permettent de déterminer si les effets fixes ont eu un effet significatif sur la variable réponse. Les moyennes par combinaison de traitements sont estimées avec un intervalle de confiance à 90 %. Les tests de différences entre les groupes de traitements sont effectués avec les tests de t.

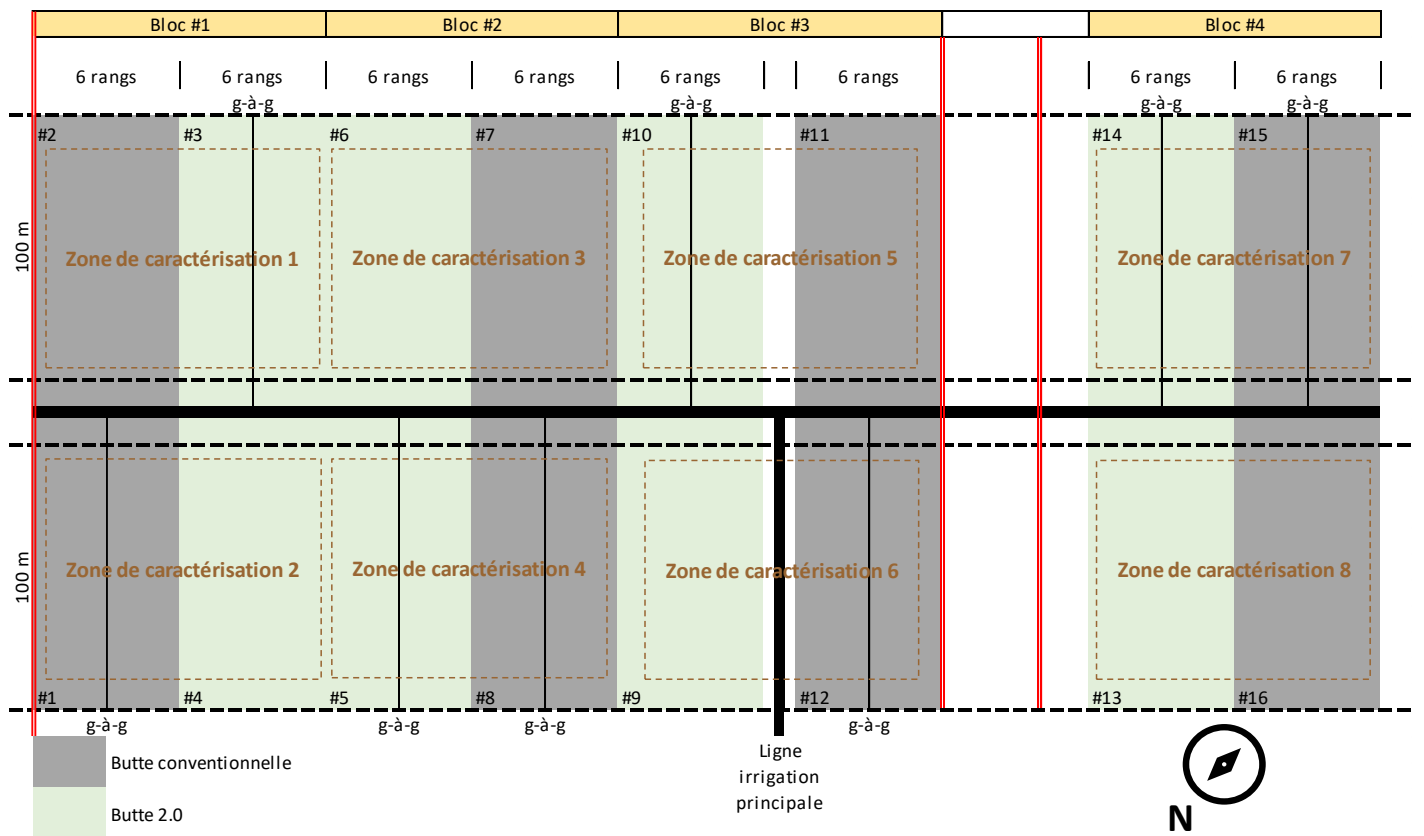


Figure 2. Schéma du dispositif expérimental - Saison 2019.

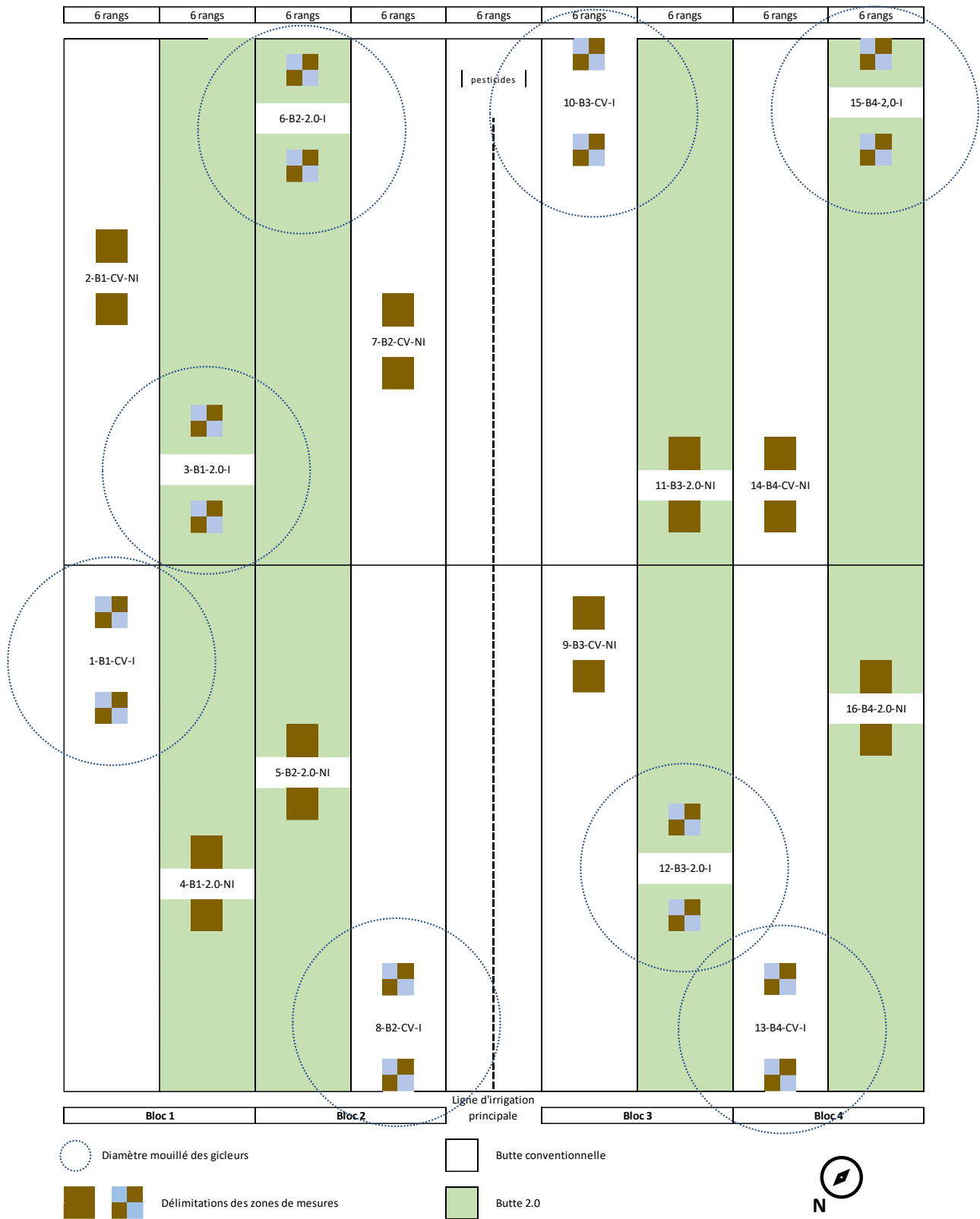


Figure 3. Schéma du dispositif expérimental - Saison 2020.

3.5 Paramètres mesurés

3.5.1 Propriétés physico-chimiques du sol

En 2019, des carottes de sol (0-20 cm) ont été prélevées le 16 août dans les 8 zones définies à la Figure 2. En 2020, 8 zones ont aussi fait l'objet d'un échantillonnage le 3 septembre et ces dernières correspondaient aux parcelles des blocs 2 et 3 (Figure 3). À raison d'un échantillon composite pour chacune des huit zones considérées, ces derniers ont 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 avec les 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, évapotranspiration potentielle (ET_p) et degrés-jours

Le 31 mai 2019 et le 9 mai 2020, une station météorologique a été installée à environ 600 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. Les données ont été enregistrées aux 15 minutes avec 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).

Les degrés-jours en base 5 °C ont été calculés en utilisant les températures maximale et minimale quotidiennes mesurées par la station météorologique. Le calcul a été effectué en utilisant l'Équation 1. Par la suite, les degrés-jours sont accumulés quotidiennement.

Équation 1. Formule utilisée pour le calcul des degrés-jours.

$$DJ_{B5} = \frac{T_{max} + T_{min}}{2} - 5$$

3.5.3 Évapotranspiration de la culture, stress hydrique et hauteur d'eau retenue par le système cultural

3.5.3.1 Installation et utilisations des sondes TDR

Le 26 juin 2019 et le 30 juin 2020, soit peu de temps après l'émergence des plants, huit stations de mesure du statut hydrique du sol ont été installées. Une station est composée de 4 sondes TDR (CS625, Campbell Scientific) qui sont reliées à un acquiseur de données (CR300, Campbell Scientific) qui effectue des mesures aux 15 minutes. Sur une des stations de mesure, des tensiomètres (SR-RSUV, Irrrometer) ont été installés afin de pouvoir consulter les données à distance via un modem cellulaire (IPn3Gb, Microhard Systems). Annuellement, les stations ont été retirées du champ peu de temps avant le renchaussage et réinstallées par la suite.

En 2019 les parcelles instrumentées sont celles des blocs 2 et 3 à l'exception de la parcelle 11 qui n'a pas été instrumentée. La 8^e parcelle instrumentée correspond à la parcelle 1 (bloc 1). En 2020, les 8 parcelles instrumentées sont celles des blocs 2 et 3 (Figure 3).

3.5.3.1.1 Description des zones de sol suivi

Quatre zones ont été identifiées pour installer les sondes TDR. Il s'agit du centre de la butte « Centre », de l'épaule de la butte « Épaule », entre l'épaule et l'entre-rang « Épaule-ER » et de l'entre-rang « ER ». Un exemple de la disposition des sondes TDR est présenté à la Figure 4 pour une Butte conventionnelle à la suite du renchaussage de cette dernière le 30 juin 2020.



Figure 4. Une parcelle « Butte conventionnelle » instrumentée à la suite du renchaussage le 30 juin 2020.

La portée de chacune des quatre sondes TDR a été représentée à l'aide d'un rectangle jaune sur une photo prise le 28 juillet 2020 alors qu'une coupe transversale a été réalisée sur un duo de Buttes conventionnelles et une Butte 2.0 (Figure 5 et Figure 6). La portée, exprimée en profondeur de sol, est respectivement de 35, 30, 30 et 20 cm pour le Centre, l'Épaule, l'Épaule-ER et l'ER de la Butte conventionnelle (Figure 5). La portée des sondes installées dans la Butte 2.0 diffère seulement pour celle de l'ER, qui est de 25 cm (Figure 6). La profondeur maximale est atteinte lorsque la sonde est insérée verticalement et peut être ajustée selon l'inclinaison d'insertion.



Figure 5. Portée des 4 sondes TDR représentée par un cadre sur une coupe transversale d'une Butte conventionnelle le 28 juillet 2020.



Figure 6. Portée des 4 sondes TDR représentée par un cadre sur une coupe transversale d'une Butte 2.0 le 28 juillet 2020.

Les coupes transversales présentées aux figures précédentes ont été réalisées 2 jours après un épisode de pluie de 34 mm (Figure 9). Les zones de sol plus foncées sont celles qui ont été à la portée de cet épisode de pluie. On remarque, pour la Butte conventionnelle (Figure 5) une zone plus claire au centre de la butte qui est toutefois traversée par une zone plus sombre. En ce qui a trait à la Butte 2.0 (Figure 6), on constate que la zone de sol au centre qui est plus claire contraste avec les zones plus sombres au pourtour de celle-ci. On constate aussi que la zone « Additionnelle » de sol dans l'entre-rang qui est plus sombre.

3.5.3.2 Évapotranspiration de la culture

3.5.3.2.1 Coefficients culturaux

La variation quotidienne de la teneur en eau volumique, mesurée avec une sonde TDR, dans les 35 premiers cm du sol au centre de la butte a été rapportée en mm d'eau. La valeur obtenue a été utilisée pour évaluer l'évapotranspiration de la culture (ET_{c-TDR}). Pour y parvenir, la valeur de la teneur en eau volumique du sol mesurée à 5 h a été soustraite de la valeur mesurée à 20 h, pour la même journée. 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 (ET_p) quotidienne pour déterminer un coefficient cultural estimé (k_c) tel que décrit par Allen et coll. (1998).

3.5.3.2.2 État de stress hydrique

Lorsque la diminution quotidienne de la teneur en eau du sol est inférieure à ce qui est attendu, il est fort probable que ce soit le résultat d'une contrainte de prélèvement en eau et par conséquent, d'une situation où la culture subit un stress hydrique. L' ET_p varie généralement d'une journée à l'autre, et ce, indépendamment de la culture en présence. Il en va autrement pour l' ET_c qui est fortement influencée par l' ET_p . À K_c constant, l'évolution de l' ET_c sur plusieurs jours, doit représenter une courbe qui est parallèle à celle de l'évolution de l' ET_p . Une augmentation de l' ET_p qui n'est pas suivi par une augmentation proportionnelle de l' ET_c , alors que c'était le cas auparavant, indique que la culture n'est pas en mesure de prélever toute l'eau dont elle a besoin (Figure 7).

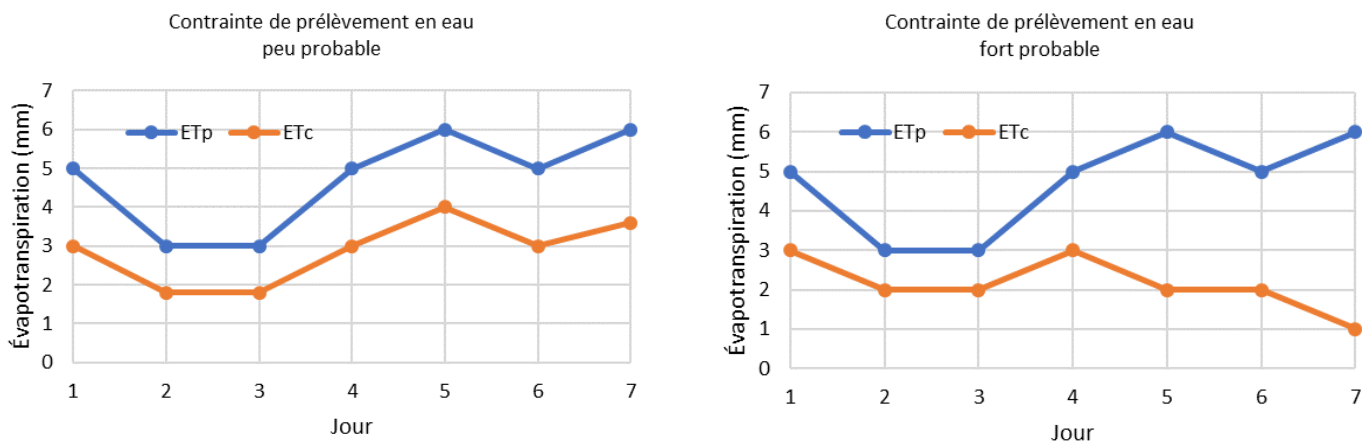


Figure 7. Schématisation de situations où une contrainte de prélèvement en eau est peu ou fort probable.

3.5.3.3 Hauteur d'eau retenue par le système cultural

Les quatre zones définies en 3.5.3.1.1, soit le Centre, l'Épaule, l'Épaule-ER et l'ER ont été utilisées pour estimer la hauteur d'eau retenue selon le système cultural en présence. Les apports en eau qui ont été retenus pour cet exercice ont été les épisodes de précipitations des 11, 17 et 19 juillet 2020.

La teneur en eau volumique du sol mesurée par la sonde TDR avant la précipitation a été soustraite à la teneur en eau volumique mesurée 24 heures après la fin de la précipitation. Ensuite, pour exprimer le différentiel de teneur en eau volumique, ainsi obtenu, sous forme de hauteur d'eau (mm), il a fallu considérer la profondeur de mesure de la sonde TDR qui a été présentée à la Figure 5 et à la Figure 6. Pour la Butte conventionnelle ces profondeurs sont respectivement 35, 30, 30 et 20 cm pour le Centre, l'Épaule, l'Épaule-ER et l'ER et respectivement 35, 30, 30 et 25 cm pour la Butte 2.0.

Selon la date de l'épisode de la précipitation, la hauteur d'eau retenue selon la zone de sol a été calculée pour chacune des parcelles. Les valeurs obtenues ont été regroupées à raison de trois parcelles pour la Butte conventionnelle et de quatre parcelles pour la Butte 2.0, pour obtenir une valeur moyenne par zone.

3.5.4 Développement de la culture

Le suivi du recouvrement du couvert végétal de la culture, par rapport au sol, a été utilisé comme indicateur de développement. Pour ce faire, une photographie d'une zone représentative de la parcelle a été prise en hauteur et a ensuite été traitée numériquement (NIH, ImageJ) pour évaluer le pourcentage de recouvrement de la culture au sol. Chacune des parcelles a fait l'objet d'un suivi.

3.5.5 Matière sèche des parties aériennes

Le 16 août 2019, une récolte des parties aériennes des plants a été effectuée pour mesurer le développement de ces derniers selon les traitements. Concrètement, 4 plants consécutifs ont été prélevés dans chacune des 16 unités expérimentales. Les plants ont ensuite été séchés à l'étuve à 105 °C pendant 48 heures pour en déterminer le poids en matière sèche.

En 2020, la récolte des plants s'est effectuée le 28 juillet. Ainsi, 5 plants consécutifs ont été prélevés et séchés. La récolte d'un 5^e plant s'explique par le fait que la biomasse de la variété Superior, au moment de la récolte des plants, permettait la récolte d'un plant supplémentaire pour obtenir un volume d'échantillonnage équivalent entre les années.

3.5.6 Récolte des tubercules

Le 27 septembre 2019, la récolte s'est effectuée manuellement sur les 2 rangs centraux à raison de 4 m linéaires/rang. Cette récolte a été effectuée 10 jours après le défanage des plants. En 2020, les tubercules ont été récoltés le 17 août. Pour chacune des parcelles, les 2 rangs centraux ont été récoltés manuellement à raison de 4 m linéaires/rang. Par la suite, les pommes de terre ont été nettoyées, séchées et criblées pour déterminer le rendement selon le calibre de commercialisation (ACIA, 2015). La qualité des pommes de terre a été évaluée de manière qualitative en analysant un sous-échantillon de la récolte.

4 Résultats

4.1 Propriétés physico-chimiques du sol

Les résultats de la caractérisation du sol sont présentés selon le bloc et la zone au Tableau 1 pour la saison 2019 et selon le bloc au Tableau 2 pour la saison 2020. En 2019, les analyses ont démontré que la partie sud du dispositif (Zones 1-3-5-7) avait une proportion plus importante de limon. Dans certains cas, la proportion a été assez élevée pour changer la classe texturale. En 2021, le dispositif était situé dans un champ dont la texture était assez homogène.

Tableau 1. Caractérisation du sol en 2019.

Bloc	Zone	pH eau	M.O. (%)	Détritus (%)	Fraction des sables (%)					Sable (%)	Limon (%)	Argile (%)	Texture
					TG	G	M	F	TF				
1	1	5,5	6,9	3,6	2	2	3	13	26	46	49	5	Loam sableux
	2	5,5	5,4	0,8	1	1	3	17	35	57	36	7	Loam sableux
2	3	5,8	6,4	1,6	1	1	3	14	28	46	49	5	Loam sableux
	4	5,9	5,6	0,8	0	1	2	18	33	55	38	7	Loam sableux
3	5	5,8	6,2	0,2	0	1	3	13	26	44	50	6	Loam limoneux
	6	5,4	5,2	0,4	1	1	2	15	36	55	40	5	Loam sableux
4	7	5,7	6,6	1,5	1	1	3	12	24	40	52	8	Loam limoneux
	8	5,6	5,3	0,5	0	1	2	19	33	55	38	7	Loam sableux

Tableau 2. 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	3,8	n.d.	1	1	10	50	25	87	7	6	Sable loameux
	6,2	5,2		0	0	6	44	30	80	14	6	Sable loameux
2	4,8	4,6		1	1	6	40	32	79	16	5	Sable loameux
	5,1	3,3		1	1	10	52	24	86	8	6	Sable loameux
3	5,0	4,0		0	1	7	44	31	83	12	5	Sable loameux
	5,0	5,0		0	1	5	44	29	78	15	7	Sable loameux
4	5,1	4,8		1	1	6	42	31	81	14	5	Sable loameux
	5,7	4,0		0	1	8	46	26	81	13	6	Sable loameux

4.2 Précipitations totales, évapotranspiration potentielle (ET_p) et degrés-jours

En 2019, la pluviométrie et l'évapotranspiration potentielle (ET_p), sur une base quotidienne et cumulative, sont respectivement présentées à la Figure 8 et à la Figure 10 pour une période comprise entre le 1^{er} juin au 27 septembre. Pour cette période, le cumul de ET_p a atteint 403 mm (Figure 10), tandis que la pluviométrie totale a été de 405 mm.

En 2020, la pluviométrie totale a été de 356 mm (Figure 9) et le cumul de l'ET_p a atteint 398 mm (Figure 11), pour la période comprise entre 19 mai et le 26 août.

En ce qui a trait aux degrés-jours en base 5 °C (DJ), le cumulatif pour la même période que celle considérée pour les précipitations et l'ET_p, a atteint 1326 DJ en 2019 (Figure 12) et 1377 DJ en 2020 (Figure 13).

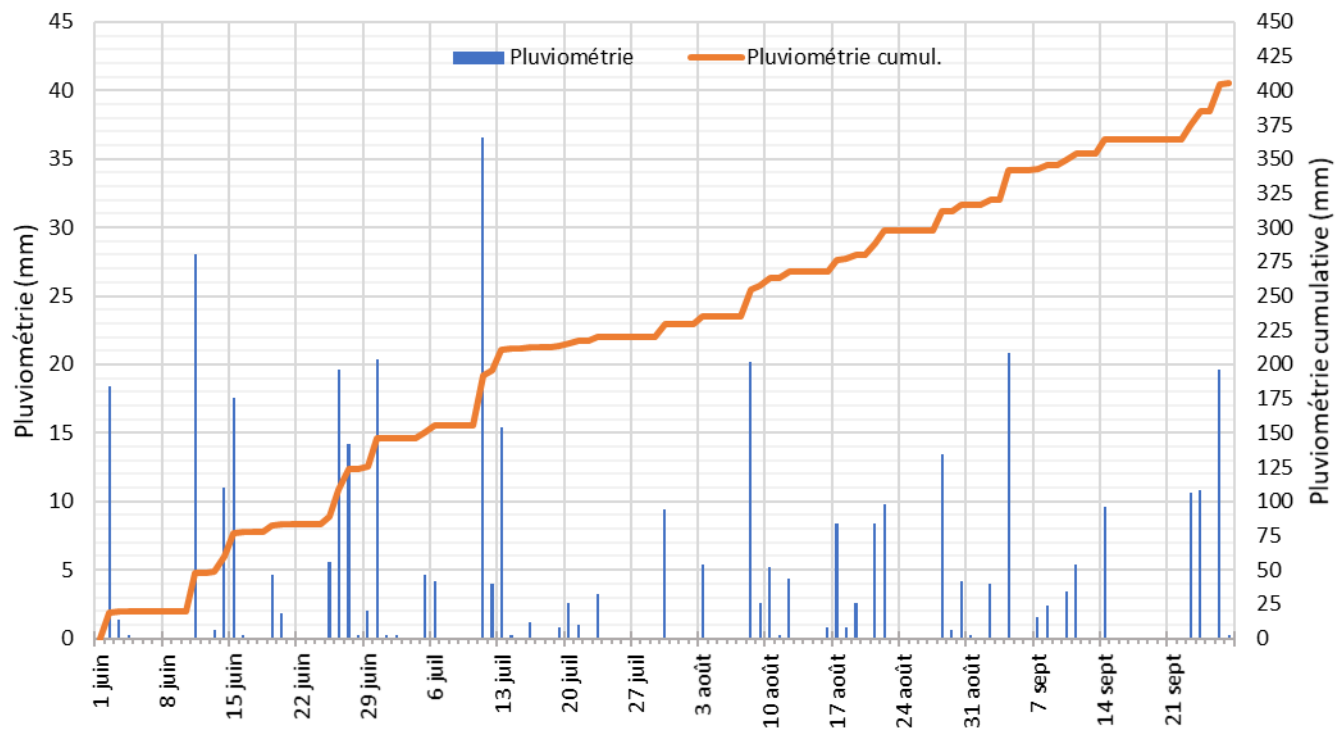


Figure 8. Pluviométrie quotidienne et cumulative (mm), du 1^{er} juin au 27 septembre 2019.

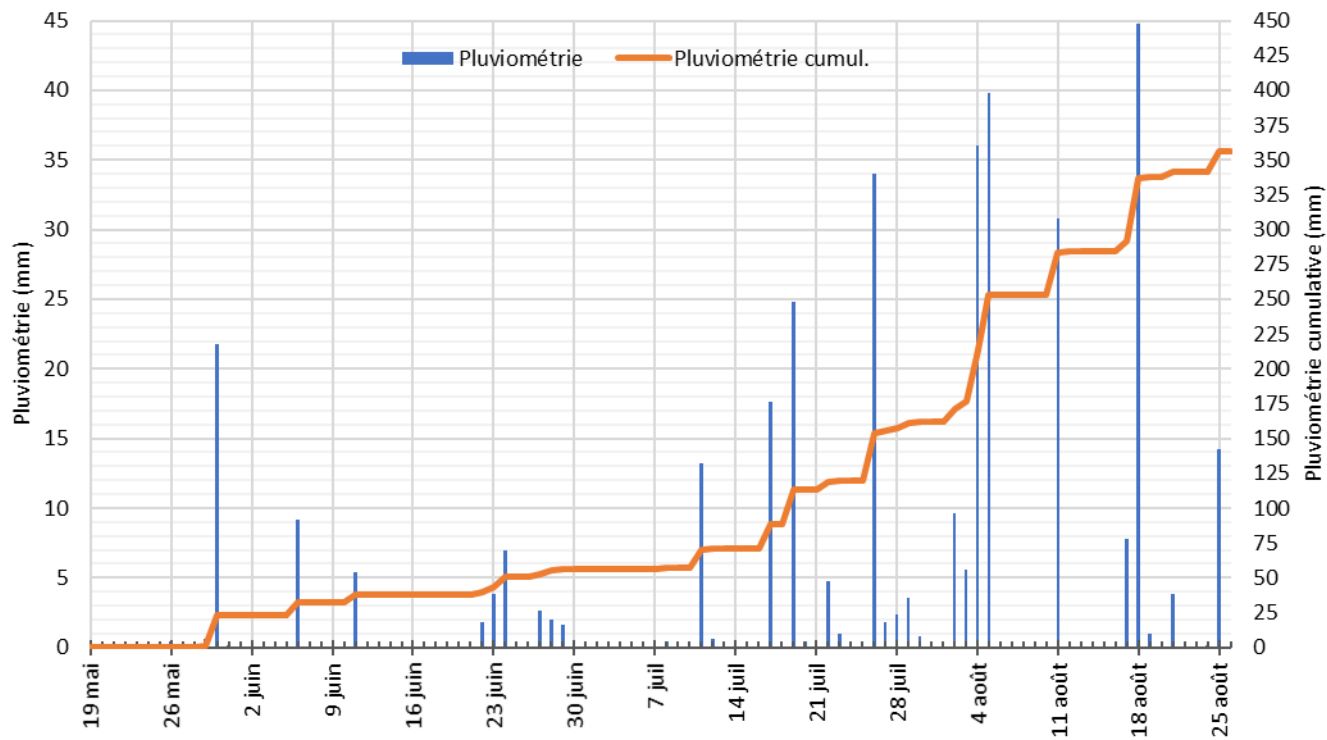


Figure 9. Pluviométrie quotidienne et cumulative (mm), du 19 mai et 26 août 2020.

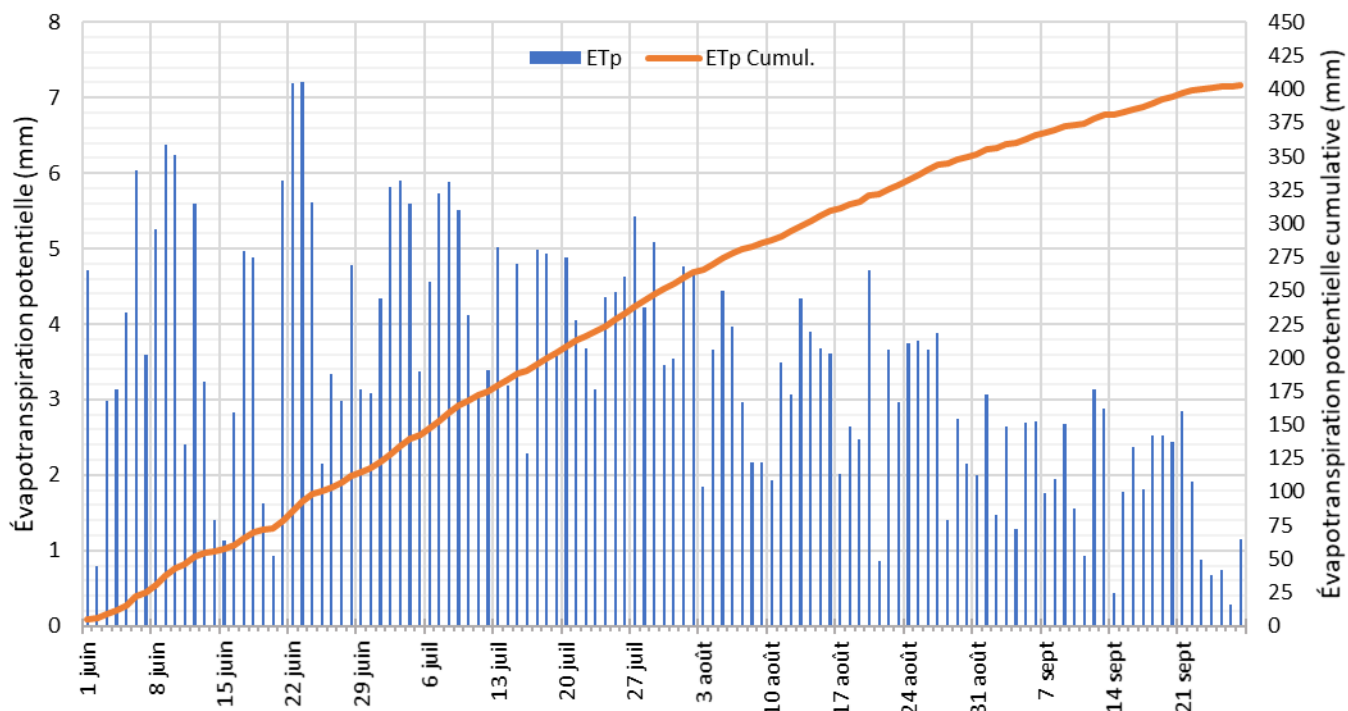


Figure 10. Évapotranspiration potentielle quotidienne et cumulative (mm), du 1^{er} juin au 27 septembre 2019.

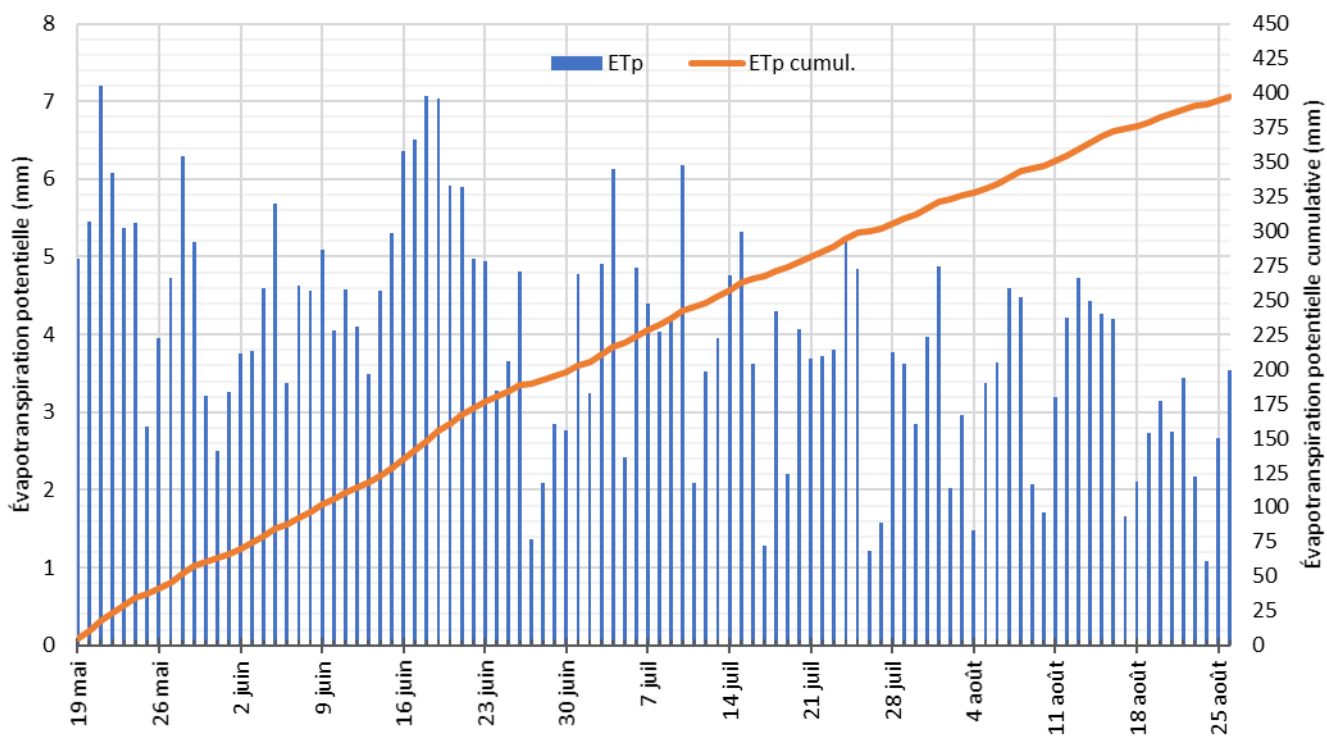


Figure 11. Évapotranspiration potentielle quotidienne et cumulative (mm), du 19 mai au 26 août 2020.

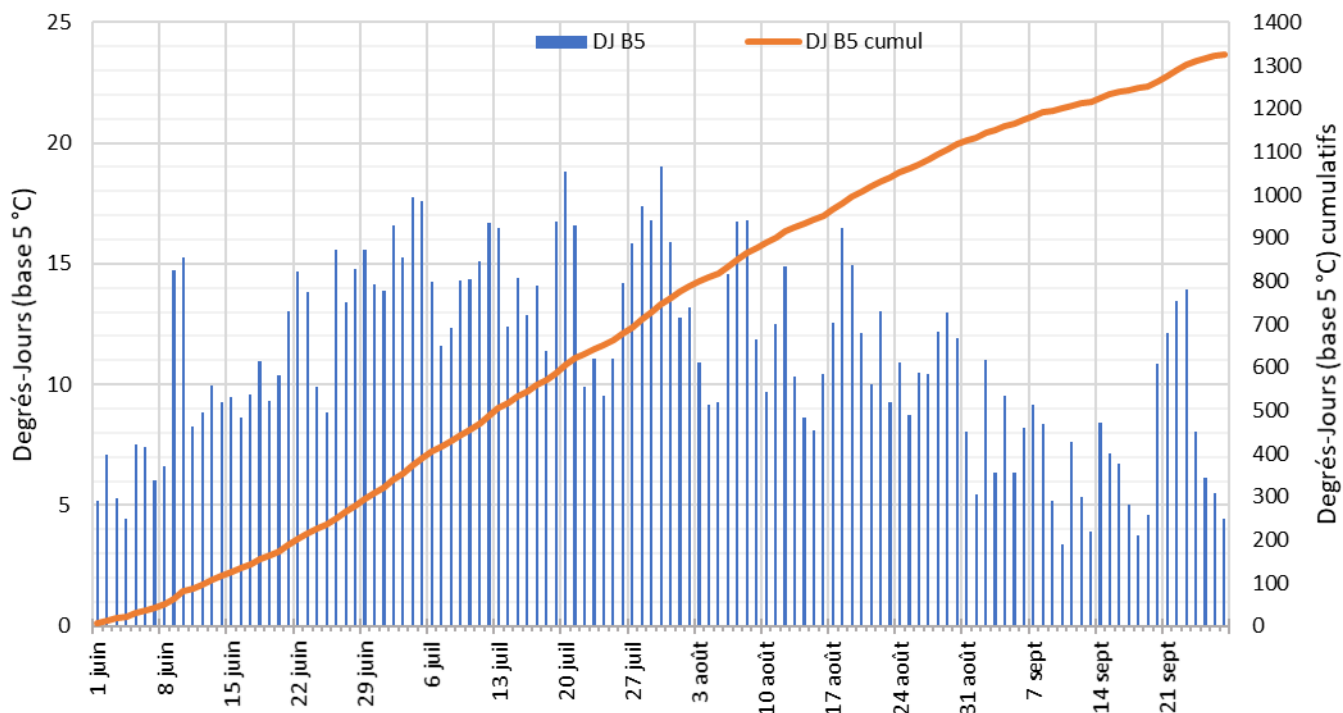


Figure 12. Degrés-jours en base 5 °C quotidiens et cumulatifs, du 1^{er} juin au 27 septembre 2019.

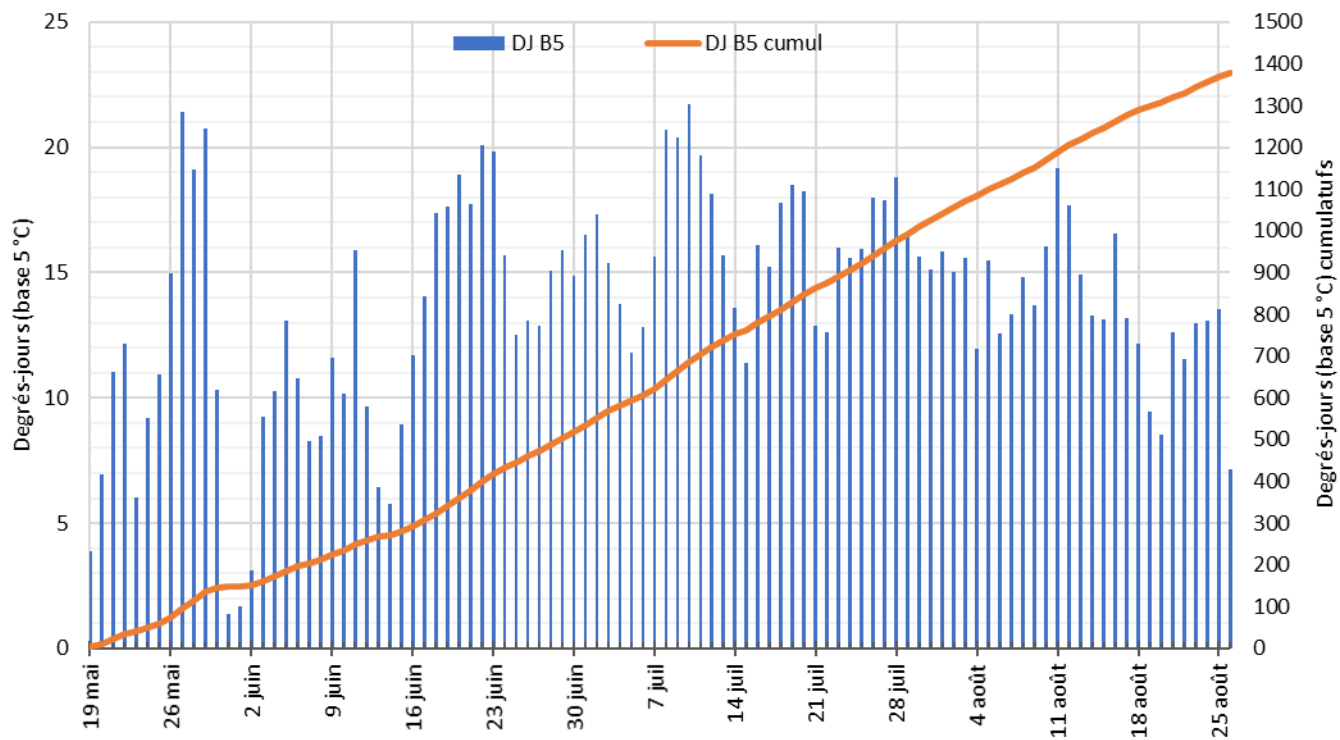


Figure 13. Degrés-jours en base 5 °C quotidiens et cumulatifs, du 19 mai au 26 août 2020.

4.3 Régie d'irrigation

L'apport total d'eau consécutive aux 27 épisodes d'irrigation effectuée en 2019 avec le système par goutte à goutte a été de 52,5 mm ou 526 m³/ha (Tableau 3).

En 2020, une hauteur d'eau totale de 62 mm ou 620 m³/ha a été appliquée en 4 épisodes d'irrigation avec un système par aspersion (Tableau 4).

Tableau 3. Hauteur et volume d'eau par épisode (s) d'irrigation(s) selon la date de l'apport – 2019.

Date	Nombre d'irrigations	Durée (minutes)	Volume (m ³ /ha)	Hauteur d'eau (mm)
23 juillet	1	51	18,1	1,8
24 juillet	2	94	36,3	3,6
25 juillet	1	93	36,6	3,7
26 juillet	2	93	37,9	3,8
27 juillet	2	105	42,0	4,2
29 juillet	1	52	22,5	2,2
30 juillet	2	92	36,0	3,6
31 juillet	2	91	35,9	3,6
1 août	2	94	32,7	3,3
2 août	2	94	38,3	3,8
3 août	1	44	17,4	1,7
4 août	1	54	20,4	2,0
5 août	2	88	33,6	3,4
6 août	2	91	36,1	3,6
7 août	1	44	17,7	1,8
16 août	1	52	20,2	2,0
27 août	1	47	19,3	1,9
28 août	1	74	25,4	2,5
Total	27	1353	526,4	52,5
Moyenne	-	50	29,2	1,9

Tableau 4. Hauteur et volume d'eau par épisode d'irrigation selon la date de l'apport – 2020.

Date	Nombre d'irrigations	Durée (minutes)	Volume (m ³ /ha)	Hauteur d'eau (mm)
30 juin	1	143	142,8	14,3
3 juillet	1	163	169,0	16,9
7 juillet	1	191	199,0	19,9
10 juillet	1	94	108,2	10,8
Total	4	591	619	61,9
Moyenne	-	148	154,8	15,5

4.4 Stress hydrique

Les valeurs d'évapotranspiration de la culture (ET_{C-TDR}), issues du suivi effectué au « Centre » de la butte des parcelles numéros 7, 9 et 11 ont été comparées aux valeurs d'évapotranspiration potentielle (ET_p) sur une base quotidienne du 12 au 15 juillet 2020 (Figure 14). Ces trois parcelles ne reçoivent aucun apport en eau via l'irrigation (NI) et sont représentatives d'un système cultural conventionnel (CV) pour les numéros 7 et 9, et d'un système modifié (2.0) pour celle ayant le numéro 11. Alors que les valeurs d' ET_p sont en croissance d'une journée à l'autre, celles d' ET_{C-TDR} sont en décroissance. Ce constat est typique d'une situation où il y a une contrainte au prélèvement en eau pour la culture.

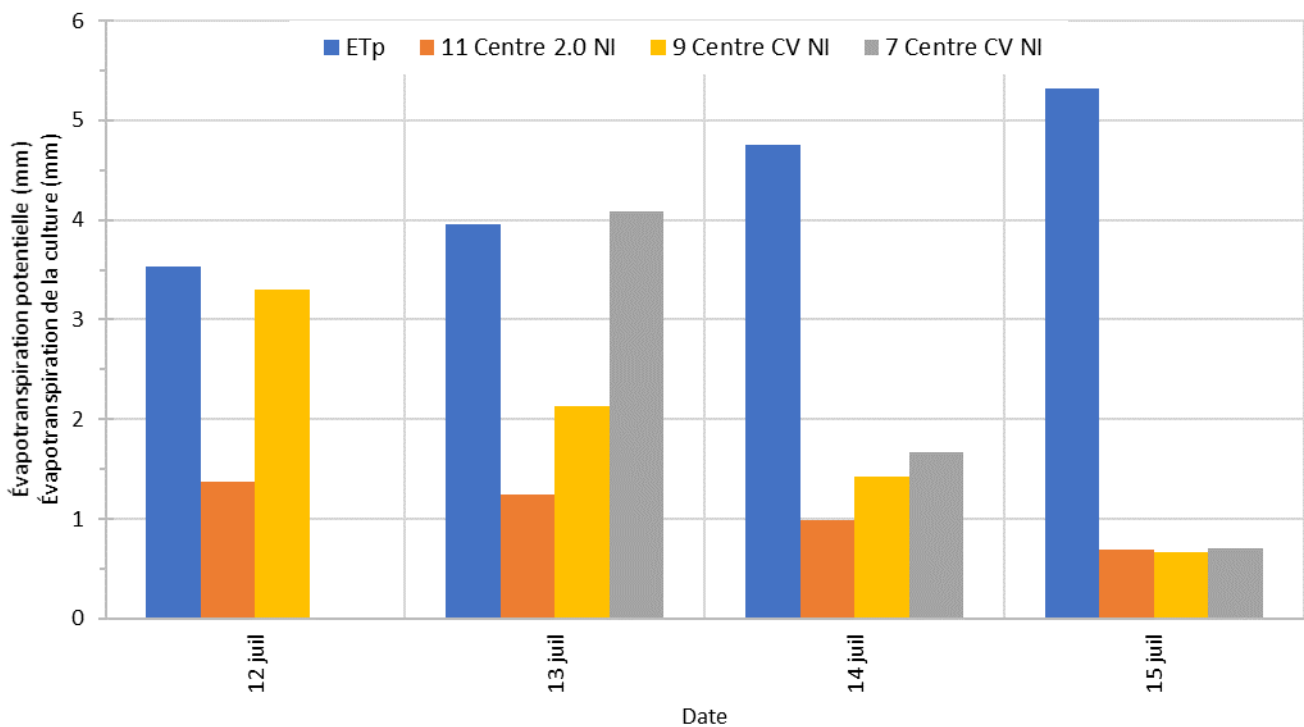


Figure 14. Évapotranspiration de la culture (ET_{C-TDR}) (mm) et évapotranspiration potentielle (ET_p) (mm) du 12 au 15 juillet 2020.

4.5 Hauteur d'eau retenue par le système cultural

Trois épisodes de précipitations ont été retenus pour comparer la performance des deux systèmes culturaux en termes de potentiel de rétention en eau. Ces épisodes sont ceux des 11, 17 et 19 juillet 2020. La durée de l'épisode, l'intensité horaire de ce dernier et la hauteur d'eau totale ont été représentées graphiquement aux Figure 15, Figure 16 et Figure 17, selon l'ordre chronologique de ces événements.

Toujours selon l'ordre chronologique dans lequel ces épisodes ont eu lieu, la précipitation totale a respectivement été de 13,2, 17,6 et de 24,6 mm, alors que l'intensité maximale a été de 3,4, 8,2 et 16,6 mm/h.

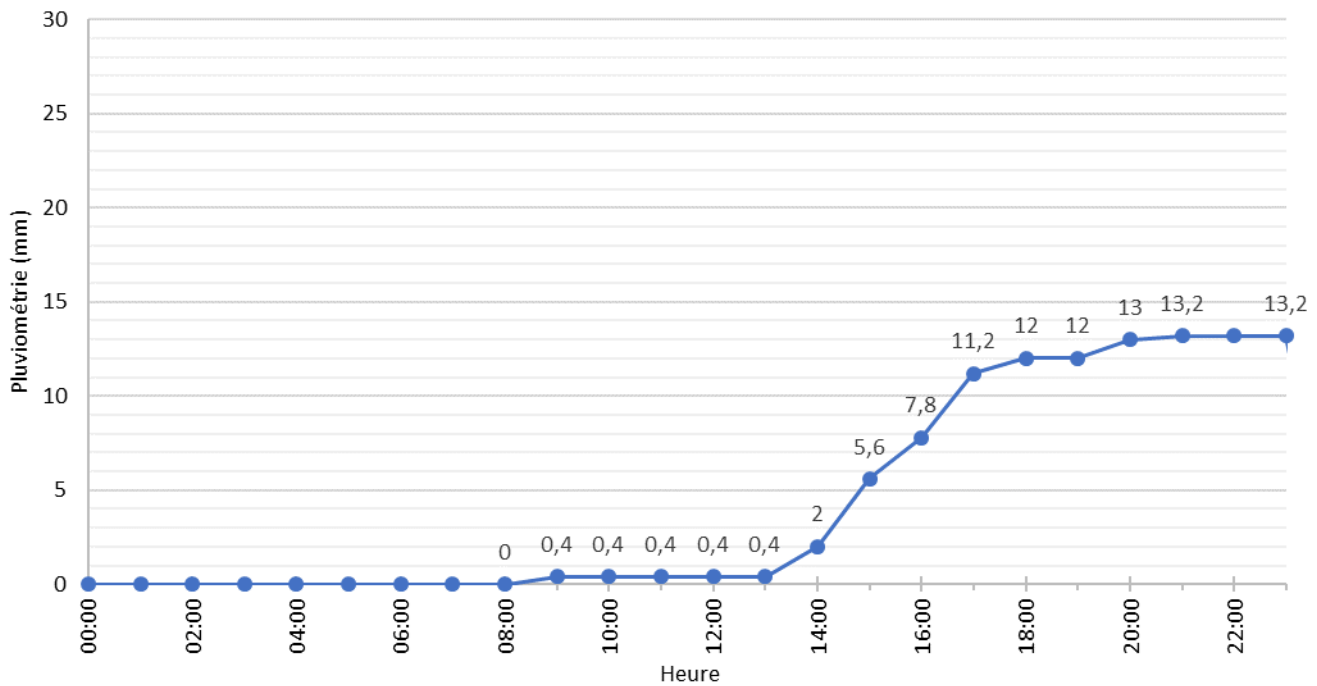


Figure 15. Précipitations cumulées (mm) sur une base horaire pour le 11 juillet 2020.

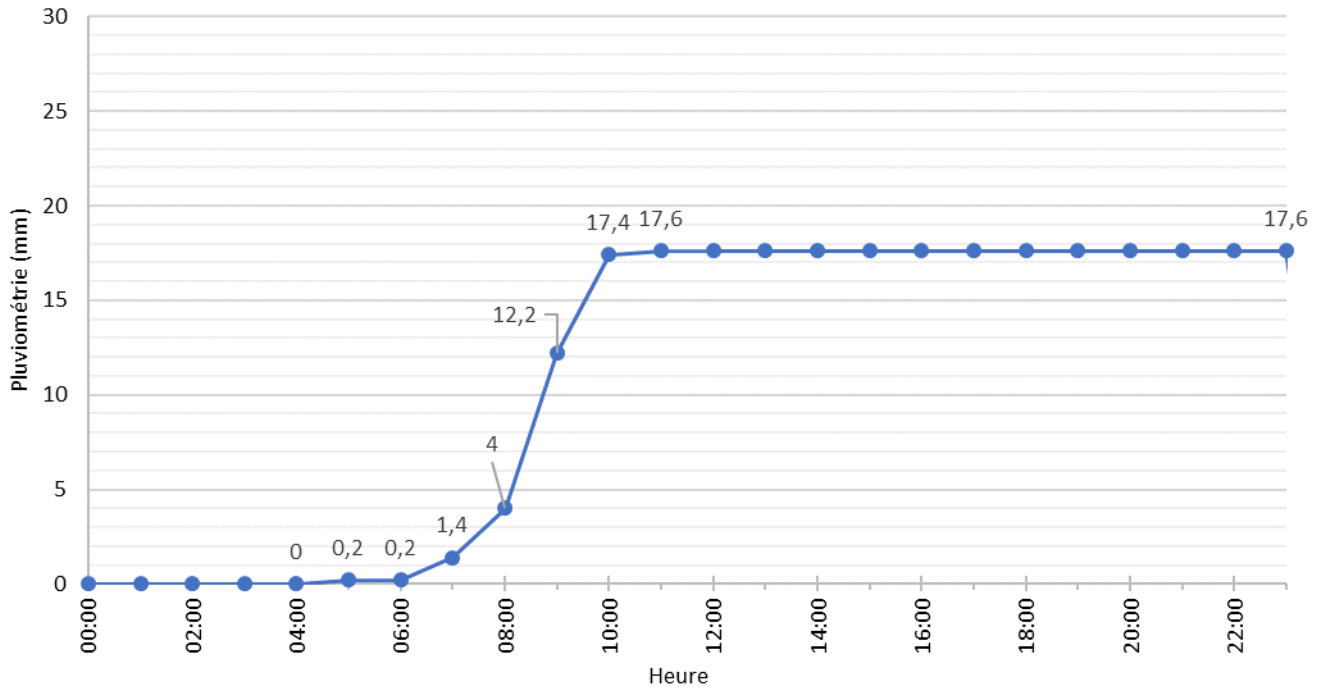


Figure 16. Précipitations cumulées (mm) sur une base horaire pour le 17 juillet 2020.

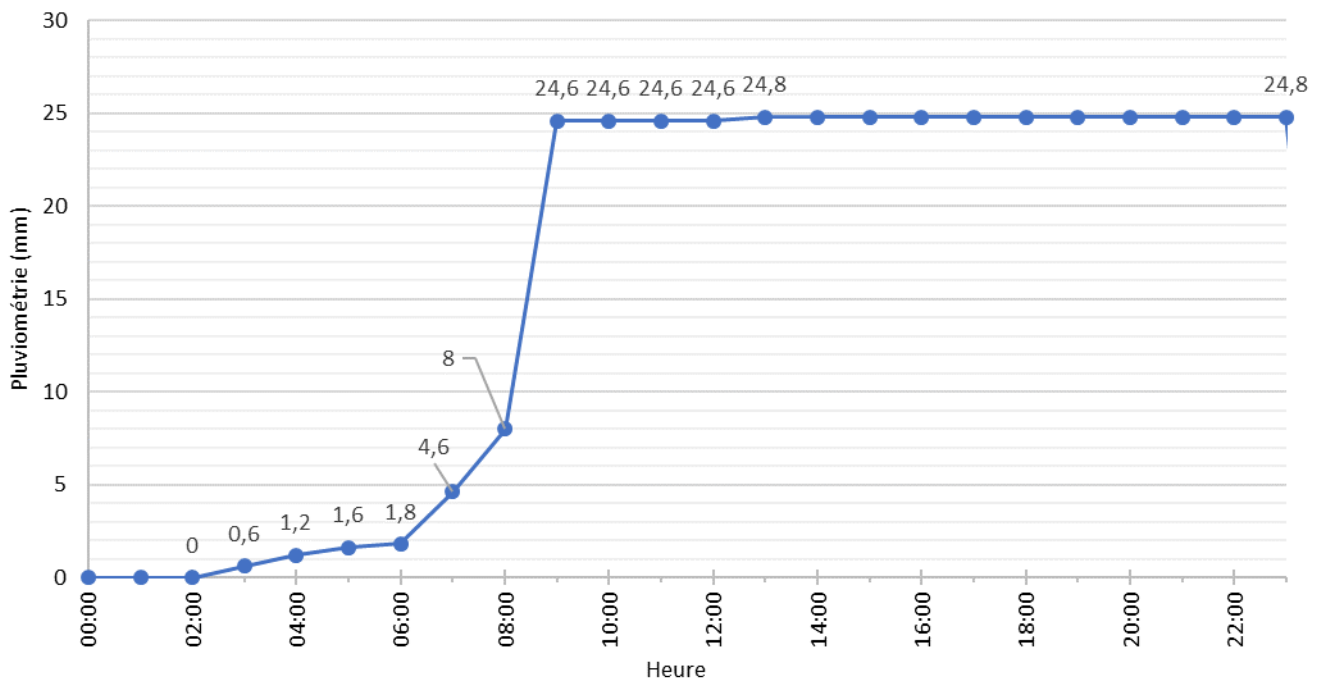


Figure 17. Précipitations cumulées (mm) sur une base horaire pour le 19 juillet 2020.

L'estimation de la hauteur d'eau retenue, en post précipitations, selon la zone de sol considérée est présentée aux Figure 18, Figure 19 et Figure 20, respectivement pour les épisodes du 11, 17 et 19 juillet 2020.

Au 11 juillet, et dans le contexte de la Butte conventionnelle, le Centre est l'endroit de la butte où la hauteur d'eau estimée a été la plus importante. Comme constaté à la Figure 5, où une coupe transversale de butte est présentée, la sonde TDR qui suit cette zone est installée vis-à-vis la tige du plant où un étroit corridor d'eau est observé. Alors que l'Épaule et l'Épaule-ER sont des zones qui sont plus difficilement humectées par les précipitations.

Dans le cas de la Butte 2.0, la valeur estimée de la hauteur d'eau retenue est différente de la Butte conventionnelle. Le Centre de la butte a été moins bien humecté tandis que l'Épaule, l'Épaule-ER et l'ER l'ont davantage été comparativement à la Butte conventionnelle.

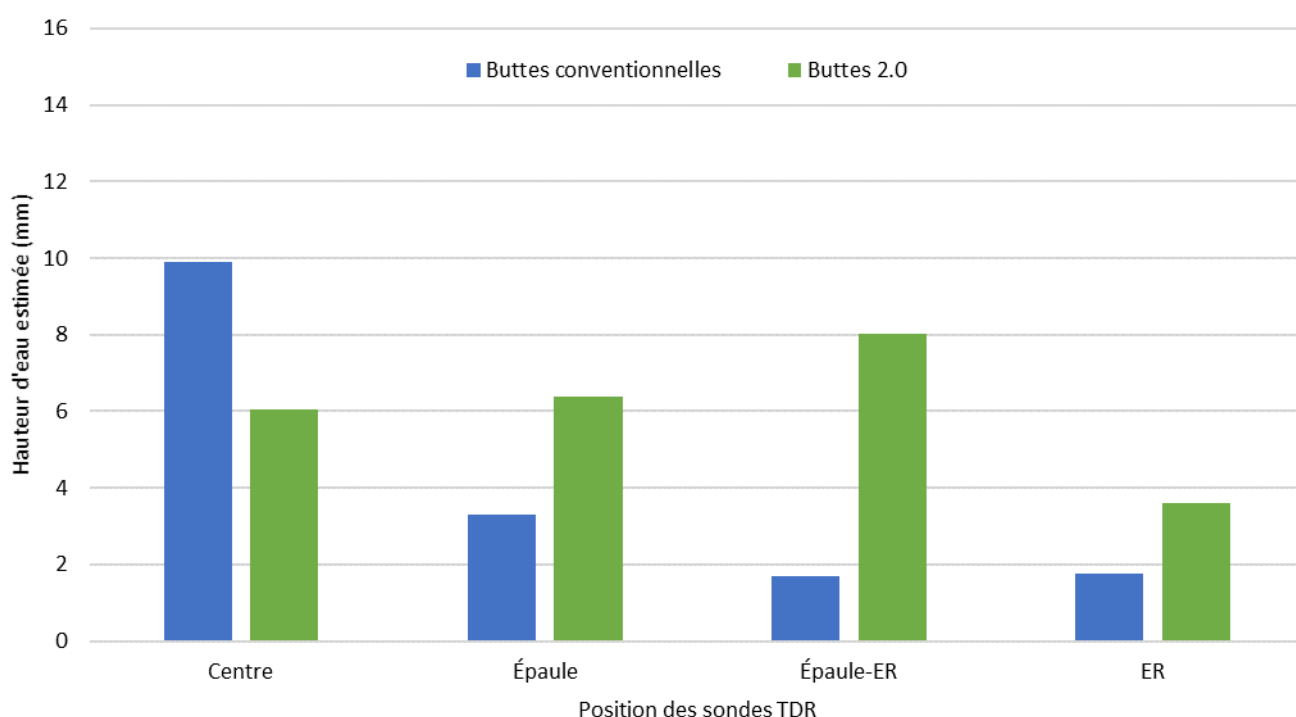


Figure 18. Estimation de la hauteur d'eau retenue par le sol (mm) selon la zone, en post épisode de précipitations du 11 juillet 2020.

En post épisode du 17 juillet 2020, l'estimation de la hauteur d'eau retenue selon la zone suit la même dynamique que pour la précipitation précédente, mais avec quelques petites distinctions (Figure 19). Les hauteurs d'eau sont plus importantes, ce qui est directement relié au fait que la précipitation a également été plus élevée au 17 juillet (17,6 mm contre 13,2 mm). Au Centre, l'écart a été moins important entre les deux architectures de buttes. Pour les autres zones, les écarts sont assez similaires à ceux du 11 juillet.

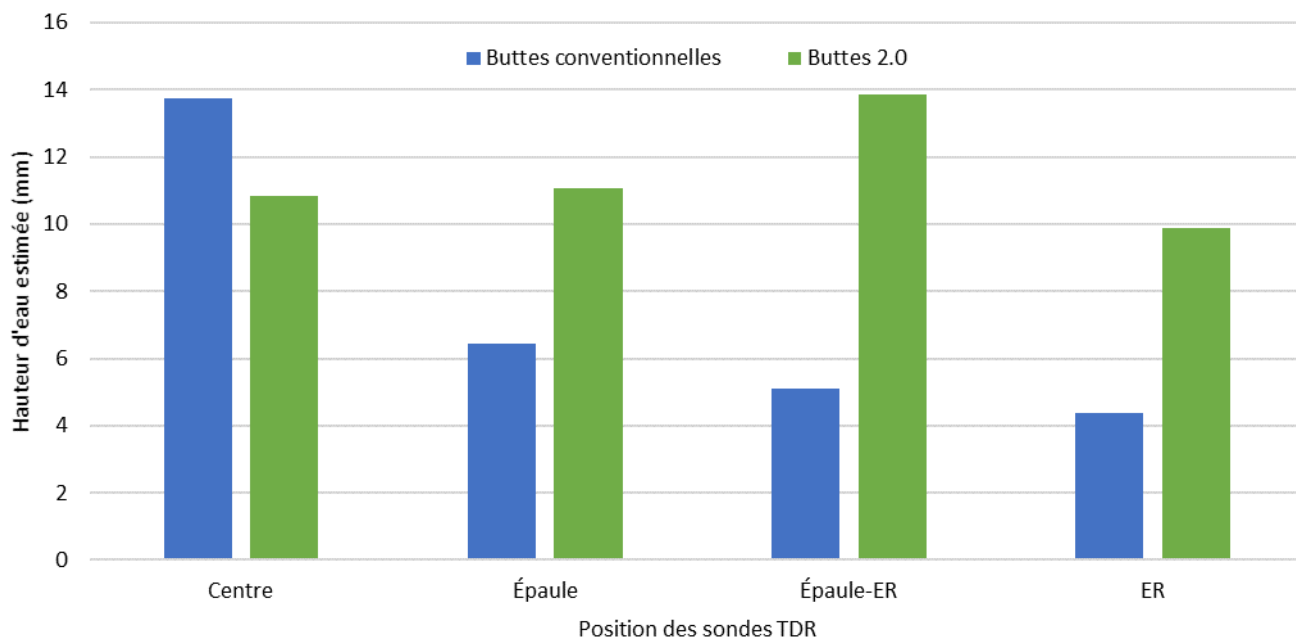


Figure 19. Estimation de la hauteur d'eau retenue par le sol (mm) selon la zone, en post épisode de précipitations du 17 juillet 2020.

La hauteur d'eau reçue lors de la précipitation du 19 juillet et l'intensité de cet épisode sont les plus importants des trois évènements retenus. L'impact de cette précipitation n'a pas été le même selon l'architecture de la butte (Figure 20). La hauteur d'eau conservée a été plus élevée dans la Butte 2.0 et ce, peu importe la zone considérée. Implicitement, la Butte 2.0 a été en mesure de retenir une hauteur d'eau plus importante que la Butte conventionnelle.

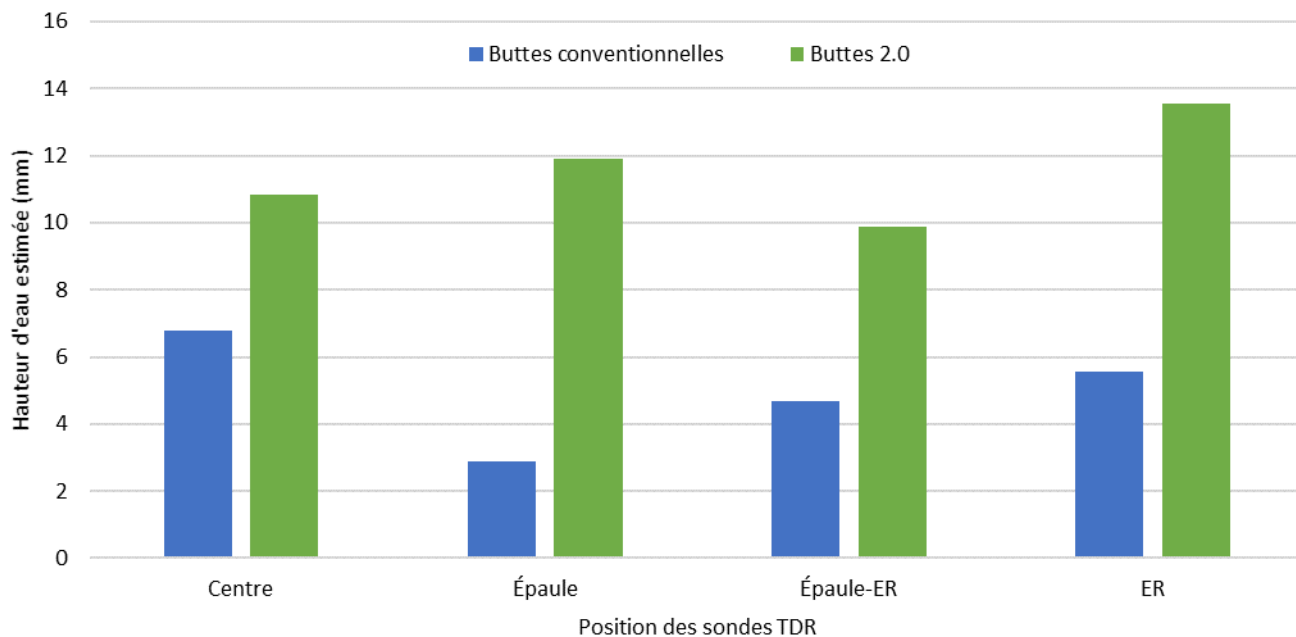


Figure 20. Estimation de la hauteur d'eau retenue par le sol (mm) selon la zone, en post épisode de précipitations du 19 juillet 2020.

Une hauteur d'eau moyenne retenue a été calculée selon l'architecture de la Butte pour les trois dates qui ont été analysées et a été comparée à la hauteur totale d'eau reçue lors de la précipitation (Figure 21). Dans tous les cas, la hauteur d'eau moyenne retenue représente seulement une proportion de la pluviométrie totale. Une certaine proportion de la précipitation peut être interceptée par le feuillage et favorable à son évaporation par la suite. De plus, la hauteur d'eau conservée est calculée 24 heures après la fin de la précipitation. Il peut donc y avoir des pertes dues à l'évaporation de l'eau à la surface du sol, au prélèvement par les plants et au drainage de l'eau libre hors du système racinaire. La Butte 2.0 semble avoir un potentiel plus grand de retenir de l'eau valorisable par la culture.

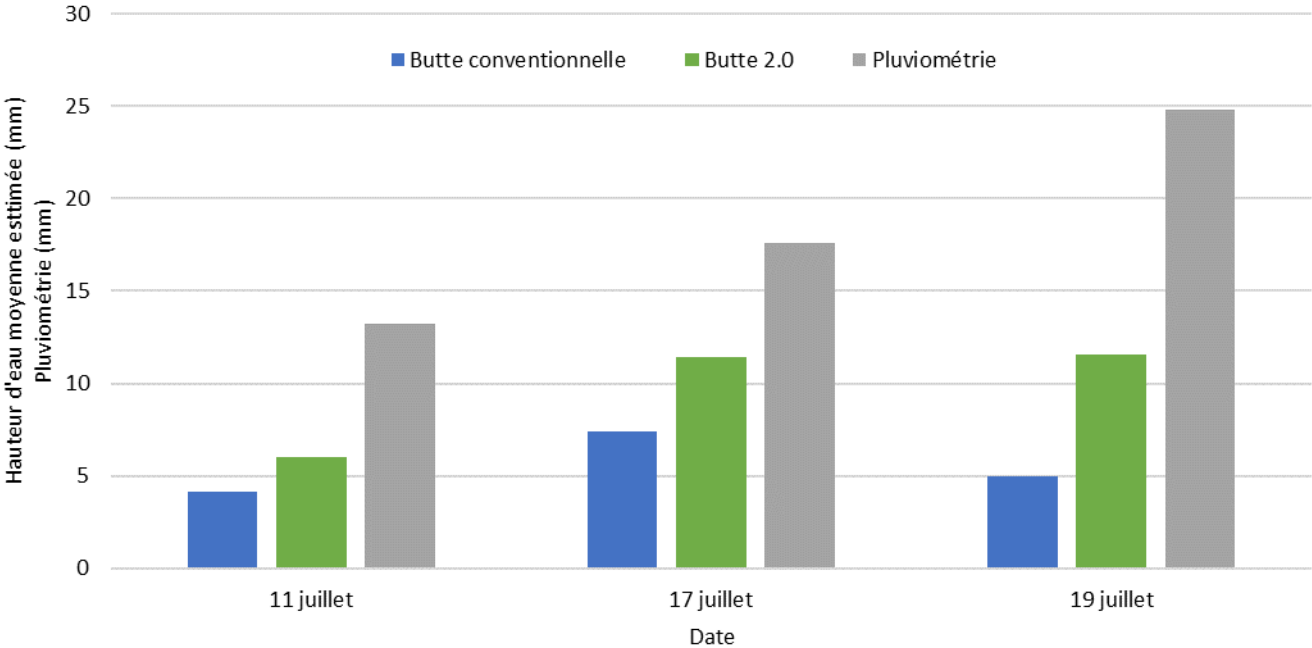


Figure 21. Hauteur d'eau moyenne estimée (mm) et pluviométrie (mm) par date et par type de butte.

L'évolution de la teneur en eau volumique du sol dans l'entre-rang (ER), entre le 11 et le 23 juillet 2020, de quatre parcelles non irriguées (NI) est présentée à la Figure 22. Les deux parcelles avec Butte 2.0 ou 2.0 (P5 et P11) sont représentées avec les courbes jaunes et les deux parcelles avec Butte conventionnelle ou CV (P7 et P9) sont représentées avec les courbes noires.

Une augmentation de la teneur en eau du sol est visible les 11, 17 et 19 juillet, soit les trois épisodes de précipitations présentés précédemment. Une courbe qui culmine en une pointe d'aiguille indique une situation où la teneur en eau du sol est à la saturation. Ce type de pointe est bien visible pour P7 et P9 (Butte conventionnelle) les 17 et 19 juillet. Lorsque la courbe culmine avec une forme arrondie, cela indique que la teneur en eau du sol est inférieure au point de saturation et par conséquent, que le sol peut retenir davantage l'eau. Le risque de perdre de l'eau en dehors du système racinaire est donc plus élevé en présence de pointes d'aiguille.

Un autre constat à propos de l'intensité du prélèvement en eau de la culture peut être fait en observant ces courbes. Hormis la perte en eau conséquente à l'évaporation, la diminution de la teneur en eau du sol, post ressuyage, peut être attribuée à l'eau qui est prélevée par la plante. Quoiqu'elle ne soit pas élevée, la diminution quotidienne est plus marquée avec les parcelles P5 et P11 (Butte 2.0). Cela indique fort probablement une colonisation du sol par les racines qui est plus importante, sans toutefois être à son apogée.

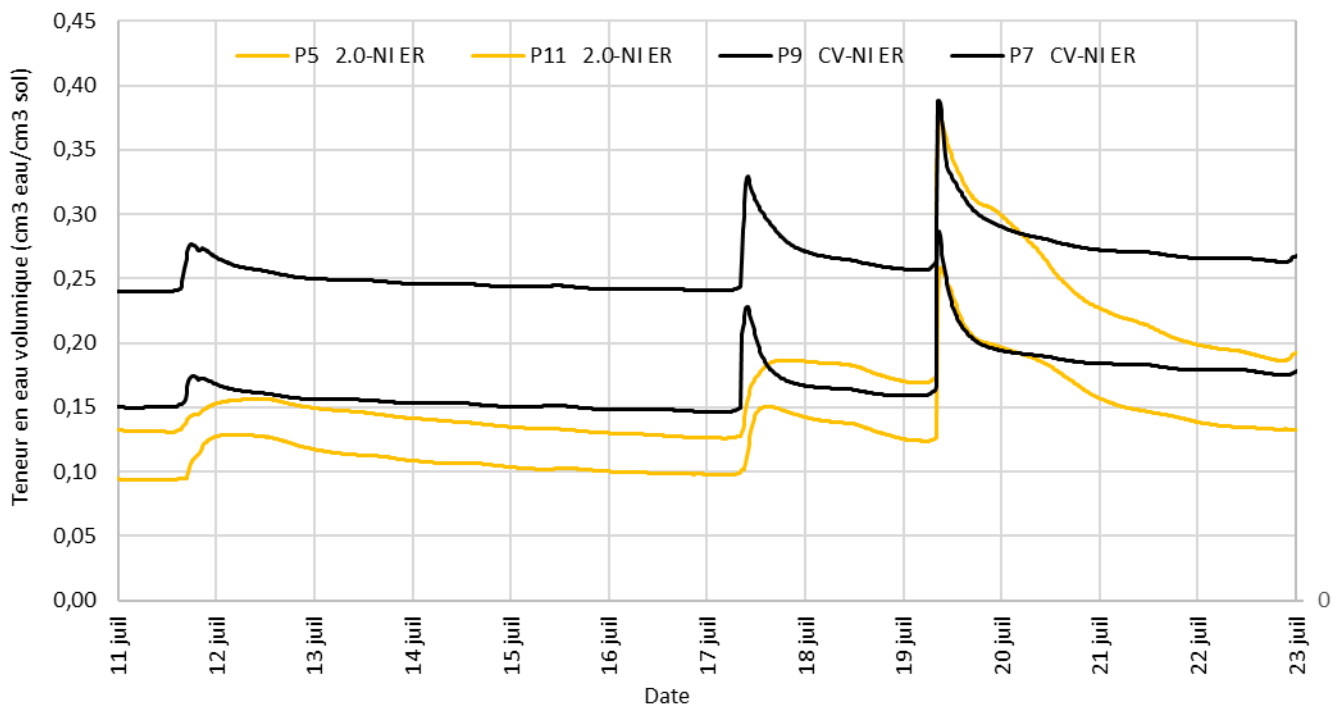


Figure 22. Évolution de la teneur en eau volumique ($\text{cm}^3 \text{ eau}/\text{cm}^3 \text{ sol}$) dans l'ER des parcelles 5 et 11 (Buttes 2.0) et des parcelles 7 et 11 (Buttes conventionnelles), en contexte non irrigué en 2020.

4.6 Suivi de la culture

4.6.1 Poids en matière sèche des parties aériennes des plants

En 2019, aucun des traitements ou interactions entre ceux-ci n'a eu d'effet significatif ($p < 0,1$) sur le poids en matières sèches des parties aériennes des plants de pommes de terre (Tableau 5). En 2020, l'irrigation (I) a eu un effet significatif sur le poids en matières sèches ($p = 0,0378$).

Tableau 5. Poids en matières sèches des parties aériennes des plants de pommes de terre - Saisons 2019 et 2020.

Variable	Effet	Valeur de F	Pr > F	Valeur de F	Pr > F
		2019	2019	2020	2020
Poids en matière sèche (g)	Architecture (A)	1,00	0,3371	0,30	0,6041
	Irrigation (I)	1,45	0,2511	7,05	0,0378
	A x I	1,58	0,2326	0,54	0,4898

En 2020, le poids en matière sèche des parties aériennes (5 plants) a atteint 289,8 et 205,0 g, respectivement pour le traitement avec et sans irrigation (

Tableau 6). À titre informatif, les valeurs pour l'ensemble des traitements et combinaisons de traitement sont aussi présentées.

Tableau 6. Poids en matières sèches des parties aériennes en g/4plants (2019) et g/5 plants (2020).

Architecture	Irrigation	Poids (g)	
		2019	2020
2.0 Conv		457,4	261,4
		426,7	233,4
	I	423,6	289,8 a
	NI	460,6	205,0 b
2.0	I	458,2	315,6
	NI	456,7	207,2
Conv	I	388,9	264,1
	NI	464,6	202,7

4.6.2 Dépérissement de la culture

Un début de dépérissement généralisé au champ a été constaté au champ à la fin juillet. La Figure 23 est représentative de l'état du champ au 3 août 2020. Après investigation, la source du dépérissement est due à la verticilliose (Figure 24).



Figure 23. Dépérissement des plants au 3 août 2020.



Figure 24. Brunissement des vaisseaux de la tige.

4.6.3 Rendements en tubercules

En 2019 et 2020, aucun des traitements ou interactions entre ceux-ci n'a eu d'effet significatif sur le rendement total ou vendable, le nombre de tubercules récoltés ou le poids moyen des tubercules (Tableau 7). À titre informatif, les valeurs pour l'ensemble des traitements et combinaisons de traitement sont présentées au Tableau 8.

Tableau 7. Analyse de la variance des variables ayant trait au rendement – Saisons 2019 et 2020.

Variables	Effet	Valeur de F		Pr > F	
		2019	2019	2020	2020
Rendement total (t/ha)	Architecture (A)	3,00	0,1342	0,48	0,5075
	Irrigation (I)	2,39	0,1727	1,20	0,3022
	A x I	1,25	0,3061	1,00	0,3445
Rendement vendable (t/ha)	Architecture (A)	2,87	0,1413	0,54	0,4812
	Irrigation (I)	2,42	0,1710	1,17	0,3073
	A x I	1,41	0,2798	0,95	0,3560
Nombre total de tubercules/8 m	Architecture (A)	0,33	0,5863	0,07	0,7997
	Irrigation (I)	0,14	0,7242	1,18	0,3049
	A x I	5,70	0,1142	0,20	0,6655
Poids moyen des tubercules (rdt total)	Architecture (A)	0,63	0,4570	0,94	0,4035
	Irrigation (I)	1,57	0,2572	1,42	0,2780
	A x I	4,08	0,1100	2,44	0,1693

Tableau 8. Rendement total et vendable en tubercules ainsi que le nombre moyen et le poids moyen de ces derniers – Saisons 2019 et 2020.

Architecture	Irrigation	Rendement (t/ha)				Tubercules (rdt total)			
		Total		Vendable		N ^{bre} moyen/8 m		Poids moyen (g)	
		2019	2020	2019	2020	2019	2020	2019	2020
2.0	Conv	46,6	15,7	45,8	15,3	227	133	134,1	84,0
		50,3	17,7	49,5	17,4	265	137	139,9	93,0
	I	47,4	18,2	46,7	17,9	251	143	132,9	91,9
	NI	49,5	15,1	48,7	14,8	235	127	141,1	85,1
2.0	I	46,3	18,7	45,6	18,2	231	144	136,6	91,9
	NI	46,9	12,7	46,1	12,3	223	121	131,6	76,2
Conv	I	48,5	17,8	47,8	17,6	275	141	129,2	91,9
	NI	52,1	17,5	51,3	17,2	254	132	150,6	94,0

À titre exploratoire et sans égard aux traitements, le rendement total en tubercules (t/ha) des 16 unités expérimentales a été regroupé pour obtenir un rendement moyen, et ce, selon la zone où il a été mesuré en 2019 (Figure 25). Ces huit zones sont présentées à la Figure 2. Ces rendements ont été mis en relation avec la proportion de limon du sol qui a été mesurée, lors de la caractérisation du site (Tableau 1), pour la même zone. Il semble y avoir une relation qui suggère un rendement plus élevé lorsque la proportion de limon dans le sol est plus élevée.

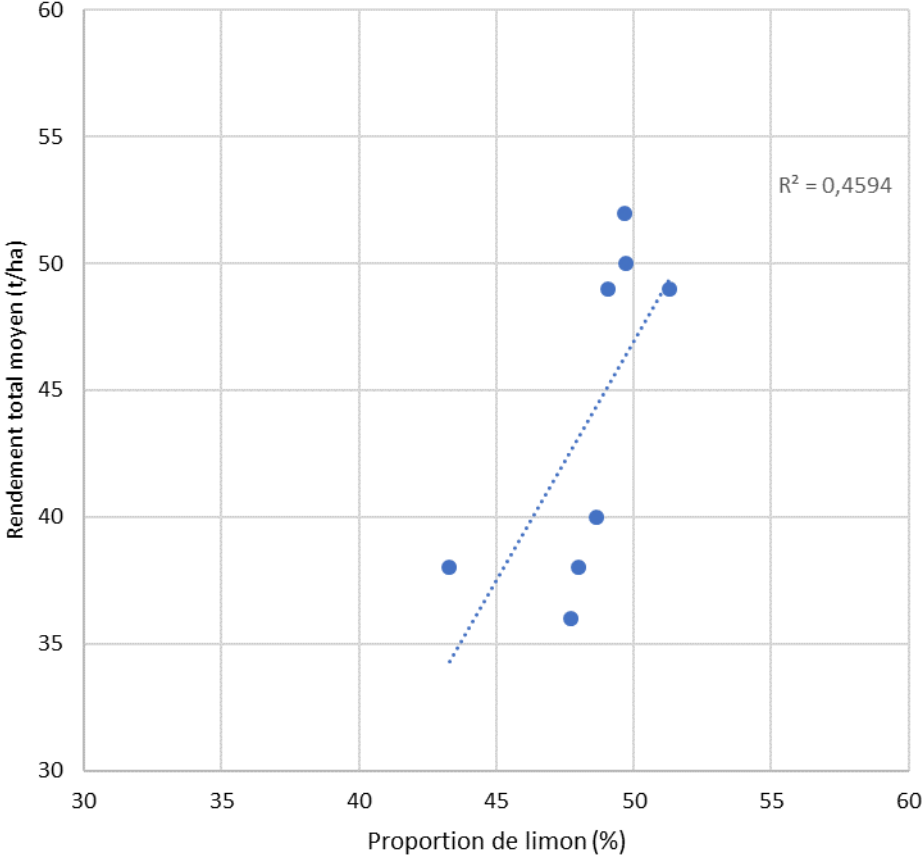


Figure 25. Rendement total moyen en tubercules (t/ha) selon la proportion de limon mesurée dans la zone considérée – Saison 2019.

5 Analyse et discussion selon les objectifs

5.1 Augmenter le nombre de jours sans stress hydrique à la suite d'un épisode de pluie ou d'irrigation

Les conditions météorologiques de la saison 2020 ont été plus propices à ce que la culture subisse un stress hydrique que celles qui ont eu cours en 2019. Durant les 53 jours qui ont suivi la plantation en 2020, un total de 57 mm ont été reçus via les précipitations (Figure 9), soit une moyenne d'environ 1 mm/j. De plus, pour la même période, un total de 242 mm d'évapotranspiration potentielle (ET_p) a été mesuré au site (Figure 11). Alors qu'en 2019, un total de 220 mm, tant en précipitations qu'en ET_p , ont été mesurés durant les 53 premiers jours (Figure 8 et Figure 10), soit une moyenne d'environ 4 mm/j. En ce qui a trait aux précipitations, il s'agit toutefois d'une hauteur totale dont la proportion qui a eu le potentiel d'être valorisée par la culture a pu varier selon le statut hydrique du sol au moment de l'apport et la profondeur racinaire.

Maintenant, pour ce qui est des apports en eau provenant de l'irrigation, un total de 53 mm d'eau ont été apportés en 2019 où 46 mm (88 %) l'ont été entre le 23 juillet et le 7 août, soit une période de 16 jours (Tableau 3). En 2020, la totalité des 62 mm apportée l'a été durant une période de 20 jours, soit du 30 juin au 10 juillet (Tableau 4). De plus, ces apports ont été faits à un moment plus hâtif dans le développement de la culture, comparativement aux apports de 2019.

Une méthode qui a été utilisée pour évaluer si le risque de subir un stress hydrique est plus faible avec la Butte 2.0 a été celle de comparer la hauteur d'eau retenue par les deux systèmes culturaux en présence en post épisode de précipitations. Trois épisodes de pluie ont été retenus pour évaluer cette hauteur, soit les 11, 17 et 19 juillet 2020 (Figure 15, Figure 16 et Figure 17). Ces épisodes ont eu lieu après la formation des Buttes 2.0 (30 juin) et avant la constatation du dépérissement du champ (fin juillet). Ces épisodes ont respectivement apporté 13,2, 17,6 et 24,8 mm d'eau avec une intensité maximale de 3,4 mm et 8,2 mm/h, respectivement pour les 2 premiers épisodes (Figure 15 et Figure 16). Le 19 juillet, le système cultural a reçu 16,6 mm en 1 heure, pour un total de 24,8 mm (Figure 17). De ces épisodes, il est resté davantage d'eau dans le système « Butte 2.0 », soit respectivement 2,2, 4,0 et 6,5 mm d'eau les 11, 17 et 19 juillet (Figure 21). Selon l' ET_c de la journée, cette différence pourrait représenter jusqu'à une journée d'autonomie supplémentaire pour une culture de pommes de terre à plein développement où l'enracinement est optimal.

Maintenant, au plus 64 % de l'apport total d'eau provenant d'un épisode de précipitation a été retrouvé dans l'environnement colonisable par les racines. Cette valeur, soit le 11,4 mm retenu par la Butte 2.0 à la suite de la précipitation de 17,6 mm du 17 juillet (Figure 21), a été mesurée alors que le sol était près de la capacité au champ. Les deux premiers épisodes ont été reçus dans des conditions de sol assez sèches. La Figure 14 illustre d'ailleurs une situation où la culture subit une contrainte de prélèvement en eau. Il s'agit de l'autre méthode qui a été utilisée pour évaluer si l'intensité du risque que la culture subisse une contrainte de prélèvement en eau est différente d'un système cultural à l'autre. On y constate une contrainte pour les deux systèmes. En effet, alors que l' ET_p est croissante d'une journée à l'autre, l' ET_{c-TDR} est décroissant. Pourquoi avoir alors laissé

ces plants dans des conditions de stress hydrique? Plusieurs journées consécutives sans apport en eau sont nécessaires pour évaluer si la culture subit une contrainte de prélèvement en eau. Par conséquent, cette évaluation ne peut se faire qu'avec les plants qui ne sont pas irrigués.

Même avec un apport de 24,8 mm le 19 juillet qui est supérieur aux deux premiers, les hauteurs d'eau retrouvées dans le sol sont comparables à celles qui suivent l'apport du 17 juillet. Tout d'abord le sol à une capacité maximale à retenir l'eau. Ensuite, certaines zones de sol deviennent saturées en eau plus rapidement que d'autres. En effet, une proportion de la pluie est détournée dans l'entre-rang par l'effet parapluie du plant de pommes de terre et la forme de la butte conventionnelle. Le sol situé dans cette zone reçoit davantage de pluie avec un volume de sol plus faible. Cette zone devient alors saturée plus rapidement et augmente le risque que l'eau atteigne et dépasse la limite inférieure du système racinaire (Figure 22).

La démonstration précédente, à savoir la plus grande autonomie avec la Butte 2.0, n'a pas pu être validée avec des mesures de contrainte de prélèvement. La seule période où une telle évaluation a pu être réalisée est celle comprise entre le 12 et le 15 juillet 2020. La Figure 14 démontre une contrainte pour les deux configurations de butte. À ce moment la colonisation de l'entre-rang par les racines est toujours en cours, ce qui implique un prélèvement en eau qui est inférieur au potentiel maximal.

5.2 Augmenter le rendement en tubercules produits par unité de surface

En 2019, il n'y a eu aucun impact de l'irrigation ou de l'architecture de la butte sur le rendement en tubercules ou encore, sur le poids en matières sèches des plants de la variété Roko (Tableau 5). De meilleures conditions de rétention en eau du sol semblent toutefois avoir eu un impact sur le rendement. Sans égard aux traitements, le rendement des parcelles a été regroupé selon la zone utilisée pour la caractérisation du sol (Figure 2). Mis en relation avec la proportion de limon mesurée, le rendement semble être plus élevé où la proportion de limon est plus élevée (Figure 25).

En 2020, le poids en matière sèche des plants a été mesuré le 28 juillet, soit à un moment qui succède les quatre épisodes d'irrigation (Tableau 6). La différence observée a été en faveur de l'irrigation et sans égard à l'architecture des buttes. La saison a donc été favorable à ce que la culture subisse un stress hydrique qui a eu un impact à la baisse sur la production de biomasse aérienne de la variété Superior. Il y a généralement une relation positive entre le poids en biomasse aérienne et le rendement (pondéral) en tubercules. Toutefois, le début de dépérissement de la culture constaté à la fin juillet empêche de valider l'impact sur le rendement en tubercules.

5.3 Améliorer l'efficacité d'utilisation de l'eau provenant des précipitations et de l'irrigation

En considérant que le potentiel de rétention en eau est supérieur avec la Butte 2.0 et l'absence de différence significative sur le poids en biomasse aérienne attribuable à l'architecture de la butte, cela impliquerait une efficacité d'utilisation en eau plus faible. Toutefois, comme mentionnée précédemment, la colonisation de la zone « additionnelle » de sol n'était pas optimale à ce moment dans l'entre-rang et n'a pas pu être évaluée avant la constatation du dépérissement de la culture.

5.4 Analyser le potentiel de rentabilité d'intervenir de la sorte

Les modifications qui doivent être apportées à la machinerie afin d'intégrer la Butte 2.0 au système cultural lors du renchaussage permettent d'optimiser cette opération. En réduisant le travail de sol à raison d'un entre-rang sur deux, le renchaussage peut être effectué en utilisant moins d'énergie ou bien être effectué plus rapidement en augmentant la vitesse de travail. Selon les essais effectués, il a été possible d'augmenter la vitesse du renchaussage avec la Buttes 2.0. La capacité effective du renhausseur utilisé (Grimme GH 6) en 2019 est passé de 4,0 ha/h en mode conventionnel à 4,4 ha/h en mode Buttes 2.0, soit une augmentation d'un peu plus de 10 %. Selon le CRAAQ, 2019, les frais associés au renchaussage étaient de l'ordre de 18,15 \$/ha. En projetant l'augmentation de capacité effective sur les frais associés au renchaussage, l'économie se chiffrerait au mieux à 2,02 \$/ha, soit une économie modeste considérant que les coûts variables associés à la pomme de terre s'élèvent à plus de 4700 \$ l'hectare (CRAAQ, 2019). Toutefois, le temps en ressources humaines économisé pourrait être affecté à d'autres tâches.

6 Conclusion

L'intensité du risque de stress hydrique auquel une entreprise spécialisée dans la production de pommes de terre est exposée dépend de plusieurs facteurs. Parmi ceux-ci il y a le cultivar, le stade de développement de la culture, l'enracinement, le sol, les conditions météorologiques ou encore la possibilité ou non d'intervenir avec l'irrigation.

Les résultats de ce projet ont démontré qu'il est pertinent de s'intéresser à l'architecture du système cultural de la pomme de terre en y intervenant pour augmenter la proportion de celui-ci qui peut être qualifié de carrefour de prélèvement en eau et en éléments nutritifs. Tout comme la performance d'un système conventionnel, celui de la Butte 2.0 demeure entre autres tributaire d'un enracinement optimal et d'apports ponctuels en eau via les précipitations et/ou l'irrigation.

L'adoption de cette architecture ne demande que des modifications relativement mineures à la machinerie existante et un renchaussage plus hâtif.

Il serait judicieux de réaliser d'autres essais pour valider et améliorer la performance de ce système cultural avec d'autres cultivars de pommes de terre, d'autres contextes pédologiques et des stratégies de fertilisation et ainsi, tirer le maximum de bénéfices de cette zone de sol qui est avantageusement à la portée des précipitations, de l'irrigation et surtout de la culture.

7 Références

- Abram, M. 2011. Wide-bed potato production offers potential. Farmers Weekly. 27 septembre. 4 pages. [En ligne] <https://www.fwi.co.uk/arable/wide-bed-potato-production-offers-potential>
- Agence canadienne d'inspection des aliments (ACIA). 2015. Manuels d'inspection des légumes frais – Pomme de terre, 2. Calibre, [En ligne] <https://inspection.canada.ca/salubrite-alimentaire-pour-l-industrie/directives-archivées-sur-les-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 14 octobre 2021.
- Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC). 2002. Le système canadien de classification des sols, 3^e édition, Presses scientifiques du CNRC, Ottawa, Canada, 196 p.
- Allen, R.G., L.S. Pereira, D. Raes et M. Smith. 1998. Crop Evapotranspiration – Guidelines for computing crop Requirements. FAO Irrigation and drainage no. 56, Food and Agriculture organization, Rome 333 p.
- American Society of Civil Engineering (ASCE), 2005. The ASCE Standardized Reference Evapotranspiration Equation. Report of ASCE Standardization of Reference Evapotranspiration Task Committee, American Society of Civil Engineering, 59 p.
- Beb planting for potatoes. 2013. Spud Smart. 2 avril. 5 pages. [En ligne] <http://spudsmart.com/in-the-field-bed-planting-for-potatoes-spud-smart-spring-2013/>
- Bergeron, D., C. Boivin, S. Bonin, C. Côté, I. Couture, P. Deschênes, M. Généreux, A. Lamontagne, C. Landry, M. Marchand-Roy, J. Vallée. 2018. Guide technique - Gestion raisonnée de l'irrigation CRAAQ. 320 p.
- Boivin, C., C. Landry, D. Bergeron, J. Vallée, M. Marchand-Roy et P. Deschênes. 2016. Et si on valorisait l'entre-rang? Affiche scientifique au Colloque sur la pomme de terre 2016, Lévis, 18 novembre 2016.
- 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.
- Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec (CRAAQ), 2019. Pommes de terre de table Budget - variétés tardives AGDEX 258/821h. 10 p.
- Gee, G.W. et J.W. 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.
- Robinson, D. 1999. A comparison of soil-water distribution under ridge and bed cultivated potatoes. Agric Water Manag 42: 189-204.

8 Annexe



Figure 26. Renhausseur Grimme GH6 à 6 rangs non modifié, saison 2019.



Figure 27. Renhausseur Grimme GH6 à 6 rangs modifié, saison 2019.



Figure 28. Dents incurvées du renhausseur Grimme 6 rangs, saison 2019.



Figure 29. Vibro-renhausseur Checchi & Magli, VR-76 Export, saison 2020.