

## RAPPORT FINAL

# AMÉLIORER L'EFFICACITÉ D'UTILISATION DE L'EAU DE PLUIE ET D'IRRIGATION PAR LA CULTURE : INTERVENIR DANS LE SYSTÈME CULTURAL DE LA FRAISE



Jérémy Vallée, agr. - IRDA

Carl Boivin, agr., M.Sc. - IRDA

Daniel Bergeron, agr., M.Sc. - DRCN du MAPAQ

Antoine Lamontagne, technicien agricole - IRDA

Février 2019

L'IRDA a été constitué en mars 1998 par quatre membres fondateurs, soit le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation (MAPAQ), l'Union des producteurs agricoles (UPA), le ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC) et le ministère de l'Économie, de l'Innovation et des Exportations (MEIE).

L'IRDA est une corporation de recherche à but non lucratif qui travaille chaque année sur une centaine de projets de recherche en collaboration avec de nombreux partenaires du milieu agricole et du domaine de la recherche.

### Notre mission

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

### Notre vision

En 2016, l'IRDA est reconnue à l'échelle canadienne comme un chef de file en recherche, développement et transfert en agroenvironnement. L'IRDA se démarque par son approche intégrée et par le dynamisme de ses partenariats qui lui permettent d'anticiper les problèmes et de proposer des solutions novatrices répondant aux besoins des agriculteurs et de la société.

### Pour en savoir plus

[www.irda.qc.ca](http://www.irda.qc.ca)

## PARTENAIRE

**Agriculture, Pêcheries  
et Alimentation**

**Québec** 

## ÉQUIPE DE RÉALISATION DU PROJET

- Responsable du projet : Carl Boivin, agr., M.Sc. - IRDA
- Chargé de projet : Jérémie Vallée, agr., B.Sc. - IRDA
- Daniel Bergeron, agr., M.Sc. – DRCN du MAPAQ
- Antoine Lamontagne, technicien agricole - IRDA

## COLLABORATEURS

Philippe Vaillancourt - Ferme Maurice et Philippe Vaillancourt

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

Carl Boivin  
IRDA  
2700, rue Einstein, Québec (Québec) G1P 3W8  
418 643-2380, poste 430  
[carl.boivin@irda.qc.ca](mailto:carl.boivin@irda.qc.ca)

## REMERCIEMENTS

Ce projet de recherche 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).

## TABLE DES MATIÈRES

1	Mise en contexte .....	1
2	Description .....	3
3	Objectif .....	4
4	Matériel et méthode .....	5
	Site expérimental .....	5
	Dispositif expérimental .....	5
	Caractérisation des propriétés physiqueS des sols .....	6
	Statut hydrique du sol .....	7
	Estimation du prélèvement par TDR .....	7
	Décompte de fruits verts.....	7
	Temps de récolte.....	7
	Nombre d'irrigations et volume total d'eau utilisé.....	8
5	Analyse des résultats.....	9
	Propriétés physiques du sol .....	9
	Pluviométrie et évapotranspiration potentielle.....	9
	Gestion des irrigations.....	11
	Statut hydrique du sol .....	13
	Efficacité de la pluie.....	19
	Efficacité de l'eau de pluie .....	22
	Rendements estimés .....	26
	Vitesse de récolte .....	27
6	Constats .....	28
7	Annexe.....	29
8	Bibliographie.....	35

## LISTE DES FIGURES

Figure 1. Schéma du dispositif expérimental. ....	6
Figure 2. Précipitations (mm) quotidiennes et cumulatives entre le 13 juin et le 30 septembre 2018. ....	10
Figure 3. Évapotranspiration potentielle (mm) quotidienne et cumulative entre le 13 juin et le 30 septembre 2018. ....	10
Figure 4. Chronique de la teneur en eau volumique du sol ( $\text{cm}^3 \text{ eau} / \text{cm}^3 \text{ sol}$ ) selon l'emplacement de la sonde TDR et des irrigations pour T1 (59 616 – Conv. – 31 po), 19 juin au 2 octobre. ....	15
Figure 5. Chronique de la teneur en eau volumique du sol ( $\text{cm}^3 \text{ eau} / \text{cm}^3 \text{ sol}$ ) selon l'emplacement de la sonde TDR et des irrigations pour T4 : (59 048 – Étroite – 12 po), 19 juin au 2 octobre. ....	16
Figure 6. Chronique de la teneur en eau volumique du sol ( $\text{cm}^3 \text{ eau} / \text{cm}^3 \text{ sol}$ ) selon l'emplacement de la sonde TDR et des irrigations pour T6 : (59 048 – 2.0 – 42 po), 19 juin au 2 octobre. ....	17
Figure 7. Chronique de la teneur en eau volumique du sol ( $\text{cm}^3 \text{ eau} / \text{cm}^3 \text{ sol}$ ) selon l'emplacement de la sonde TDR et des irrigations pour T8 : (59 048 – Conv. – 42 po), 19 juin au 2 octobre. ....	18
Figure 8. Chronique de la teneur en eau volumique du sol ( $\text{cm}^3 \text{ eau} / \text{cm}^3 \text{ sol}$ ), la pluviométrie (mm) et des irrigations pour les sondes TDR de T6 et T8, situées au centre de la butte. ....	20
Figure 9. Effet d'une faible pluviométrie ( $\leq 10 \text{ mm}$ ) sur la teneur en eau volumique ( $\text{cm}^3 \text{ eau} / \text{cm}^3 \text{ sol}$ ) du sol au centre de la butte, T6 et T8. ....	21
Figure 10. Effet d'une faible pluviométrie ( $\approx 10 \text{ mm}$ ) sur la teneur en eau volumique ( $\text{cm}^3 \text{ eau} / \text{cm}^3 \text{ sol}$ ) du sol au centre de la butte, T6 et T8. ....	21
Figure 11. Effet d'une moyenne pluviométrie ( $\approx 15 \text{ mm}$ ) sur la teneur en eau volumique ( $\text{cm}^3 \text{ eau} / \text{cm}^3 \text{ sol}$ ) du sol au centre de la butte, T6 et T8. ....	22
Figure 12. Effet d'une faible pluviométrie ( $< 10 \text{ mm}$ ) sur la teneur en eau volumique du sol ( $\text{cm}^3 \text{ eau} / \text{cm}^3 \text{ sol}$ ) près du centre de la butte et à proximité de l'épau, T1 : 59 616 – Conv. – 31 po. ....	23
Figure 13. Effet d'une faible pluviométrie ( $< 10 \text{ mm}$ ) sur la teneur en eau volumique du sol ( $\text{cm}^3 \text{ eau} / \text{cm}^3 \text{ sol}$ ) près du centre de la butte et à proximité des plants, T6 : 59 048 – 2.0 – 42 po. ....	23
Figure 14. Nombre de fruits verts relatif (%) selon les traitements. ....	26
Figure 15. Vitesse de récolte (g de fruit/minute) en fonction des traitements. ....	27
Figure 16. Schéma de la butte étroite. ....	29
Figure 17. Schéma de la butte témoin producteur. ....	29
Figure 18. Schéma de la butte conventionnelle 4 rangs. ....	30
Figure 19. Schéma de la butte 2.0. ....	30
Figure 20. Exemple d'une Butte 2.0 sans paillis de plastique (essais préliminaires IRDA Deschambault). ....	31
Figure 21. Implantation des traitements. ....	32
Figure 22. Exemple d'une Butte 2.0 avec des piquets barbés installés au centre. ....	33
Figure 23. Vue d'ensemble des Buttes 2.0 avec les sacs de sable disposés au centre. ....	34

# 1 MISE EN CONTEXTE

---

L'approvisionnement en eau est un enjeu important à l'Île d'Orléans, à la fois pour le secteur municipal et le secteur agricole. Une étude réalisée en 1977 par le ministère des Ressources naturelles, maintenant appelé ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles (MERN), conclut que les ressources en eaux souterraines sont limitées sur le territoire et qu'elles ne sauraient suffire à combler les besoins municipaux (MRNQ, 1977 cité par BPR, 2008).

Ce faible potentiel offert par les aquifères locaux a également des impacts importants sur le secteur agricole. Une étude portant sur les questions d'approvisionnement en eau pour le secteur de l'agriculture au Québec (BPR, 2003) a conclu que la problématique de l'approvisionnement en eau pour des fins d'irrigation à l'Île d'Orléans constituait un des enjeux les plus significatifs à l'échelle provinciale.

Selon Statistiques Canada (2016), 89 entreprises ont irrigué leurs terres en 2016, pour une superficie de 834 hectares à l'Île d'Orléans. Ces valeurs sont variables selon les années et les conditions météorologiques. En 2005 par exemple, ce sont 1160 hectares qui ont été irrigués, selon les mêmes sources. De plus, les réserves en eau disponibles sont limitées sur les entreprises, ce qui restreint les quantités appliquées.

Dans le but de solutionner la problématique, une étude technico-économique de solutions techniques visant l'approvisionnement en eau des cultures horticoles à l'Île d'Orléans a été réalisée par la firme BPR (2008). Cette étude a clairement démontré qu'actuellement, les superficies irriguées sont inférieures à ce qu'elles pourraient être si l'eau était suffisamment disponible.

Selon la fiche d'enregistrement du MAPAQ, 173 entreprises agricoles déclaraient 8247 hectares en culture en 2010 (MRC IO, 2015). De cette superficie, on compte 1568 hectares en légumes et pommes de terre et 588 en fruits. BPR (2008) estimait que 77 % des superficies en fruits et légumes étaient considérées potentiellement irrigables si les réserves étaient suffisantes. En appliquant ce même facteur aux superficies de 2010, ce sont donc 1600 hectares qui seraient potentiellement irrigables. En considérant les cultures et les besoins en eau de celles-ci, tel que démontrés par BPR et en soustrayant les précipitations, le besoin en eau total est de l'ordre de 3,9 millions de m<sup>3</sup> annuellement. Actuellement, les étangs d'origine anthropique, dont le nombre est évalué à près de 600 et qui se remplissent principalement par la fonte des neiges, sont la principale source d'approvisionnement en eau pour irriguer et représentent une réserve totale d'environ 1,9 million de m<sup>3</sup> (Bergeron, 2017). Le manque de réserve en eau est donc d'environ 2 millions de m<sup>3</sup>, sans compter que les changements climatiques risquent d'accentuer les variations des conditions météorologiques et augmenter les besoins en irrigation.

Parmi les éléments de solution pour augmenter les réserves, il y a le creusage d'étangs additionnels, le prélèvement des débits de crue de certaines rivières lorsque cela est possible ou encore l'approvisionnement au fleuve. Le creusage d'étangs représente des coûts élevés et retire des superficies qui pourraient être utilisées à des fins de production. De plus, la faible épaisseur des dépôts meubles et la dureté de la roche-mère limite le potentiel d'augmenter la profondeur d'étangs existants. Quant aux rivières, bien que les quantités disponibles soient limitées et que les prélèvements soient soumis à la réglementation du MELCC, cette source pourrait être davantage mise à profit pour le remplissage partiel des étangs en cours de saison (BPR, 2009 et



Marceau et coll., 2013). La qualité de l'eau des rivières quant à ses propriétés microbiologiques et à la présence de certains pesticides exige toutefois de se préoccuper de la qualité. Pour ce qui est du fleuve, un projet réalisé de 2014 à 2017 chez une entreprise située à Saint-Laurent-de-l'Île-d'Orléans a permis de conclure qu'il est possible de s'y approvisionner, mais un suivi et l'application de mesures de contrôle de qualité doivent être mis en place, particulièrement en ce qui a trait à la qualité microbiologique et à la présence de moules zébrées (Côté, 2017 et Généreux, 2017). Cette source demeure toutefois limitée à certaines entreprises en raison de l'accès direct au fleuve et des coûts engendrés par les installations de pompage et de filtration.

Dans un souci d'améliorer l'efficacité d'utilisation de l'eau d'irrigation, les producteurs ont de plus en plus recours à l'irrigation par goutte-à-goutte. Cette technique est d'ailleurs devenue la norme pour les cultures produites sur sol butté recouvert de paillis de plastique, comme dans le cas de la fraise à jours neutres. Le système d'irrigation par goutte-à-goutte présente l'avantage d'appliquer l'eau directement au sol et idéalement, dans la zone racinaire, ce qui limite les pertes par évaporation. En contrepartie, comme l'eau apportée rejoint un volume de sol restreint, cette technique exige une régie rigoureuse, sans quoi les rendements et la qualité peuvent diminuer, si les quantités appliquées sont insuffisantes, ou encore des pertes d'eau hors de la zone racinaire peuvent être observées, si les irrigations sont trop longues. Une difficulté additionnelle se présente en ce qui a trait aux sols sableux ou graveleux. En effet, en présence de tels sols, l'eau appliquée par irrigation présente un mouvement latéral peu important, et l'eau se déplace rapidement sous la zone racinaire, augmentant ainsi les risques de pollution des eaux souterraines par les fertilisants, tout en diminuant l'efficacité d'utilisation de l'eau. En pareil cas, environ 50 % seulement du volume de sol de la butte sont hors de portée du système d'irrigation (Boivin et Dechênes, 2011).

Les entreprises qui ont recours à l'irrigation ont pour la plupart une régie qui est adéquate, mais l'efficacité de l'utilisation de l'eau pourrait certes être améliorée, ce qui pourrait diminuer les besoins totaux de réserve en eau estimée, mais aussi l'augmenter. Parmi les solutions à privilégier, l'amélioration de l'efficacité de l'utilisation de l'eau d'irrigation demeure incontournable. Pour y parvenir, des nouvelles méthodes culturales qui favoriseront une meilleure exploration du sol (enracinement) et de la réserve en eau et des nutriments (carrefours de prélèvements), ainsi que des techniques d'irrigation plus efficaces pourront être mises à l'essai. Par exemple, dans le système cultural actuel de la fraise à jours neutres, la superficie occupée par les entre rangs représentent environ 40 % de la superficie totale du champ.

En plus de l'efficacité d'utilisation de l'eau, un autre paramètre mérite d'être considéré dans l'élaboration d'un système cultural : l'efficacité de la main-d'œuvre pour la récolte. Les coûts de main-d'œuvre peuvent représenter 55 % des dépenses d'une entreprise productrice de fraises (La Presse, 2018).

Il est donc pertinent de s'intéresser à la possibilité de « retoucher » le système cultural actuel afin d'améliorer l'efficacité de l'utilisation de l'eau, tout en considérant les rendements et les coûts de main-d'œuvre.

## 2 DESCRIPTION

---

Ce projet propose d'intervenir dans un système cultural représentatif de celui de la fraise à jours neutres afin de favoriser la valorisation de l'eau et de l'azote par cette culture. Pour ce faire, il proposera des interventions qui permettront d'augmenter la capacité de rétention en eau (précipitations ou irrigations) du système cultural, d'augmenter le volume de sol colonisé par les racines et où l'azote apporté a un potentiel d'être prélevé par la culture.



### 3 OBJECTIF

---

Comparer des systèmes culturaux de fraises à jours neutres en termes de :

- a) Prélèvement en eau;
- b) Efficacité de l'eau d'irrigation et de la pluie;
- c) Potentiel de rentabilité quant à leur adoption et leur utilisation (vitesse de récolte, densité à l'hectare, mauvaises-herbes).

## 4 MATÉRIEL ET MÉTHODE

### SITE EXPÉRIMENTAL

Le projet s'est déroulé en situation de production commerciale de fraises à jours neutres (*Seascape*) sur une entreprise située à Saint-Laurent-de-l'Île-d'Orléans où le sol était de type loam sablo-argileux graveleux.

### DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL

Un système cultural typique, soit un sol buté recouvert de paillis plastique et irrigué par goutte à goutte (Témoin) a été comparé à quatre systèmes culturaux qui visent l'un ou plusieurs de ces objectifs :

- augmentation de la vitesse de récolte;
- diminution de la superficie occupée par les entre rangs;
- augmentation de l'efficacité de l'eau provenant de la pluie et de l'irrigation.

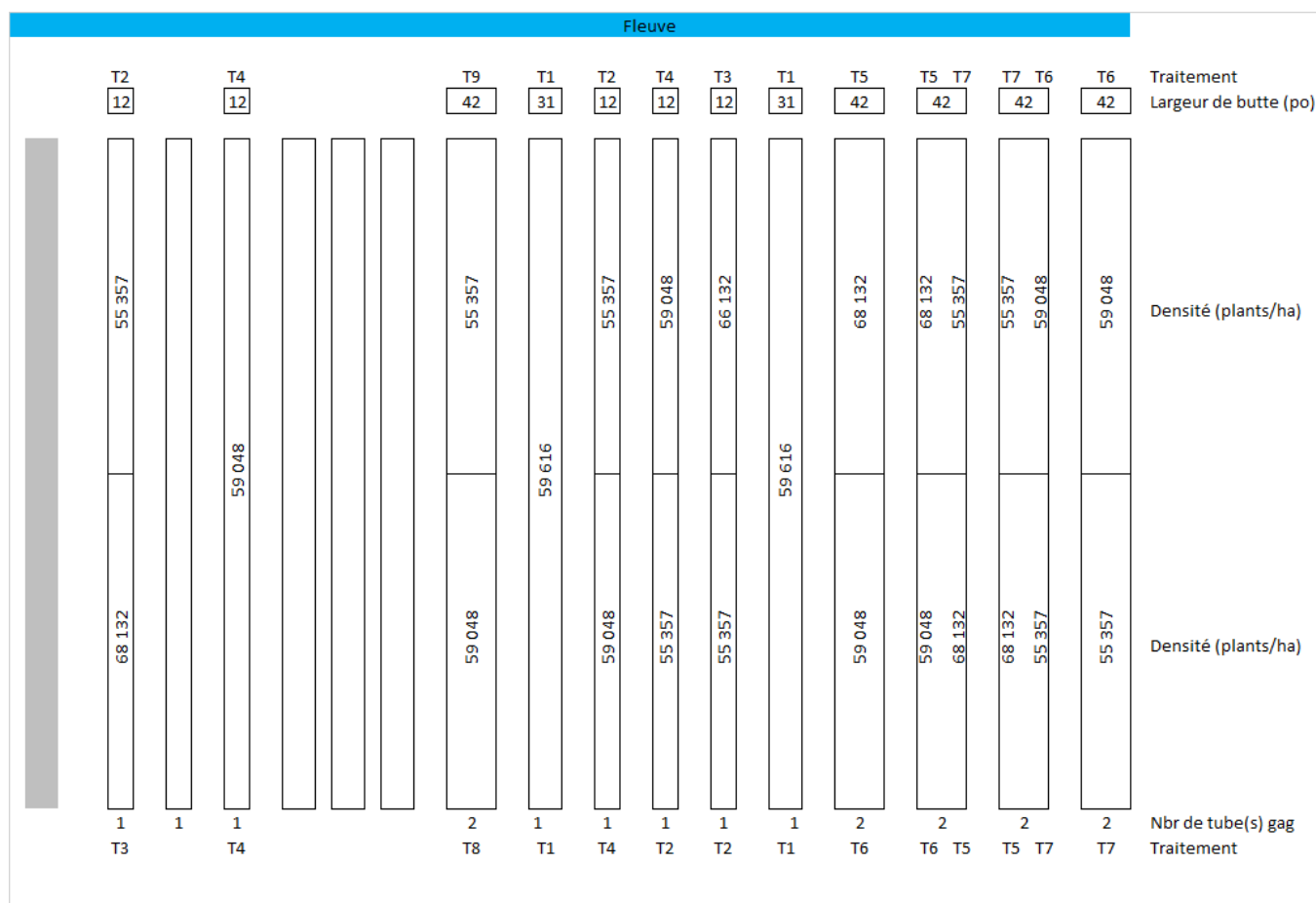
Les traitements détaillés au Tableau 1 ont été évalués et comparés à l'intérieur d'un dispositif expérimental (Figure 1). La plupart des traitements ont été répétés 4 fois, mais certains traitements n'ont pu être répétés 4 fois.

**Tableau 1. Description des traitements selon la densité de plantation et les caractéristiques de la butte.**

Traitement	Densité		Caractérisation de la butte			Acronyme
	Plants / ha	Variation p/r au Témoin	Largeur (po)**	Type	Nombre de rangs de fraisières/butte	
<b>T1</b>	59 616	Témoin (0 %)	31	Conventionnelle 2 rangs	2	59 616 - Conv. - 31 po
<b>T2*</b>	55 357	- 7 %	12	Étroite	1	55 357 - Étroite - 12 po
<b>T3*</b>	68 132	15 %	12	Étroite	1	68 132 - Étroite - 12 po
<b>T4*</b>	59 048	Comparable	12	Étroite	1	59 048 - Étroite - 12 po
<b>T5</b>	68 132	15 %	42	2.0	4	68 132 - 2.0 - 42 po
<b>T6</b>	59 048	Comparable	42	2.0	4	59 048 - 2.0 - 42 po
<b>T7</b>	55 357	- 7 %	42	2.0	4	55 357 - 2.0 - 42 po
<b>T8</b>	59 048	Comparable	42	Conventionnelle 4 rangs	4	59 048 - Conv. - 42 po
<b>T9</b>	55 357	- 7%	42	Conventionnelle 4 rangs	4	55 357 - Conv. - 42 po

\*Évaluation de la vitesse de récolte

\*\*Nombre de tubes de goutte-à-goutte : 2 (42 po) et 1 pour les autres traitements.



**Figure 1. Schéma du dispositif expérimental.**

Le buttage s'est réalisé au moyen d'une butteuse-dérouleuse (Rain-Flo Irrigation, modèle 2600) ajustée et modifiée pour s'ajuster aux différentes largeurs de buttes (Figure 16, Figure 17, Figure 18). La Butte 2.0 a nécessité de modifier les versoirs avants pour permettre la formation d'une dépression au centre de la butte (Figure 19). Le paillis de plastique au centre de la Butte 2.0 a été maintenu tendu grâce à des sacs de sable pour épouser la dépression centrale (Figure 23). Finalement, des piquets à angle barbés (habituellement utilisés pour l'irrigation des cultures en pots) ont été installés au centre de la Butte 2.0 pour permettre à l'eau provenant des précipitations de pénétrer dans le sol.

## CARACTÉRISATION DES PROPRIÉTÉS PHYSIQUES DES SOLS

La caractérisation du sol a été effectuée sur l'horizon 10 à 20 cm. Le  $pH_{\text{eau}}$  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, 1968). Le contenu en matière organique totale a été calculé selon le contenu en  $C_{\text{tot}}$ , déterminé au LECO, avec un facteur de conversion de 1,724. Le P et les éléments mineurs ont été extraits dans une solution Mehlich-3 (Tran et Coll., 1992) et dosés à l'ICP optique.

## STATUT HYDRIQUE DU SOL

Le suivi du statut hydrique du sol s'est fait au moyen de sondes TDR (Campbell Scientific, CS616 ou CS625) reliées sur des acquiseurs de données (Campbell Scientific, CR10 ou CR1000). En somme, chaque traitement a été suivi avec des mesures effectuées verticalement dans les épaules et au centre de la butte pour un total de quatre sondes par butte à l'exception de celle étroite, ou seulement deux sondes ont été nécessaires.

## ESTIMATION DU PRÉLÈVEMENT PAR TDR

La variation quotidienne de la teneur en eau volumique dans les 30 premiers cm du sol, mesuré avec les sondes TDR, a été rapportée en mm d'eau. La valeur obtenue a pu être utilisée pour évaluer l'évapotranspiration de la culture ( $ET_{c-TDR}$  - TDR). Pour y parvenir, la valeur mesurée à 18 h (7 Juillet au 30 septembre) a été soustraite de la valeur mesurée à 6 h, et ce, pour chacune des sondes TDR. Les valeurs issues de journées où il y a eu des irrigations ou des précipitations, et celles au lendemain de ces précipitations ont été éliminées. Par la suite, ces prélèvements ( $ET_c$  - TDR) ont été mis en relation avec l'évapotranspiration potentielle ( $ET_p$ ) mesurée pas une station météo d'Agrométéo située à Saint-Laurent-de-l'île-d'Orléans. Ainsi, un coefficient cultural estimé ( $k_c$ ) était déterminé tel que décrit par Allen et coll. (1998).

$$k_c = \frac{ET_c}{ET_p}$$

## DÉCOMPTE DE FRUITS VERTS

Afin de suivre l'évolution du rendement potentiel de chaque traitement, un décompte de fruits verts a été effectué à quatre reprises durant la saison soit les 16 et 23 août, ainsi que les 7 et 18 septembre en suivant la méthode de Deschênes et Boivin (2016) utilisée pour prévoir les rendements en fruits. Pour chaque parcelle, 30 plants ont été aléatoirement sélectionnés et les fruits verts présents sur l'ensemble des plants ont été comptés. De plus, un décompte de fruits verts a été fait dans des buttes du producteur à proximité du dispositif expérimental. Ainsi, il a été possible de mesurer l'évolution du potentiel de production de chaque traitement et de les comparer.

## TEMPS DE RÉCOLTE

Le temps de récolte pour les différentes buttes a été chronométré à deux reprises durant la saison, soit les 13 et 17 septembre. La vitesse de récolte a été évaluée pour les traitements T1, T2, T4, T5, T6 et T8. Malheureusement, il a été impossible de mesurer la vitesse de récolte du traitement T1 « Producteur » à l'intérieur du dispositif expérimental. Toutefois, la vitesse de récolte a été estimée sur un rang du producteur situé à proximité du dispositif expérimental. Il existe certes certaines différences entre le traitement Témoin producteur du dispositif expérimental et le système cultural du producteur tel que la date de plantation, la formation de la butte et certains traitements phytosanitaires, mais il s'agit tout de même d'un comparatif crédible.

## NOMBRE D'IRRIGATIONS ET VOLUME TOTAL D'EAU UTILISÉ

Le nombre d'épisodes d'irrigation a été suivi grâce à un débitmètre (Seametrics, TX-80) relié sur un acquiiseur de données (Campbell Scientific, CR1000). Les données ont été enregistrées chaque minute. Ainsi, la durée et le volume de chaque épisode d'irrigation ont été comptabilisés.

## 5 ANALYSE DES RÉSULTATS

### PROPRIÉTÉS PHYSIQUES DU SOL

Une caractérisation du sol a été effectuée au courant de la saison. Les résultats des analyses physico-chimiques se retrouvent aux Tableau 2 et Tableau 3.

**Tableau 2. Caractérisation du sol.**

Paramètres							
pH <sub>eau</sub>	pH <sub>tampon</sub>	Détritus	M.O.	Sable (%)	Limon	Argile	Texture
5,5	6,7	26,5	2,7	45	29	26	Loam

**Tableau 3. Contenu en éléments nutritifs du sol.**

Éléments										
P	K	Ca	Mg	Al	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Na
(mg/kg)										
104	197	1504	177	1069	0,202	2,92	331	55,5	1,37	7,46

### PLUVIOMÉTRIE ET ÉVAPOTRANSPIRATION POTENTIELLE

Les précipitations et l'ET<sub>p</sub> pour la saison 2018 sont présentées respectivement aux Figure 2 et Figure 3. Le pluviomètre présent à proximité du dispositif a mesuré tout près de 280 mm entre le 13 juin et le 30 septembre. Dans ce même intervalle de date, la station météo a mesuré une ET<sub>p</sub> cumulative de 422 mm.

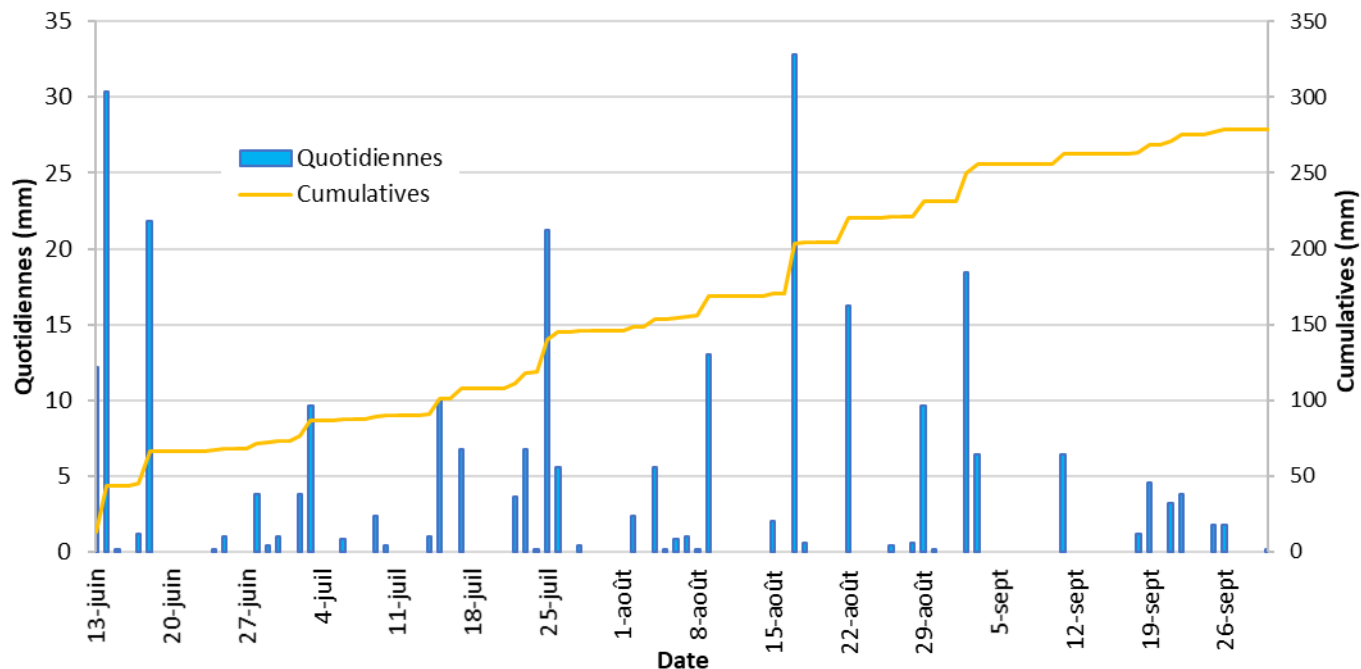


Figure 2. Précipitations (mm) quotidiennes et cumulatives entre le 13 juin et le 30 septembre 2018.

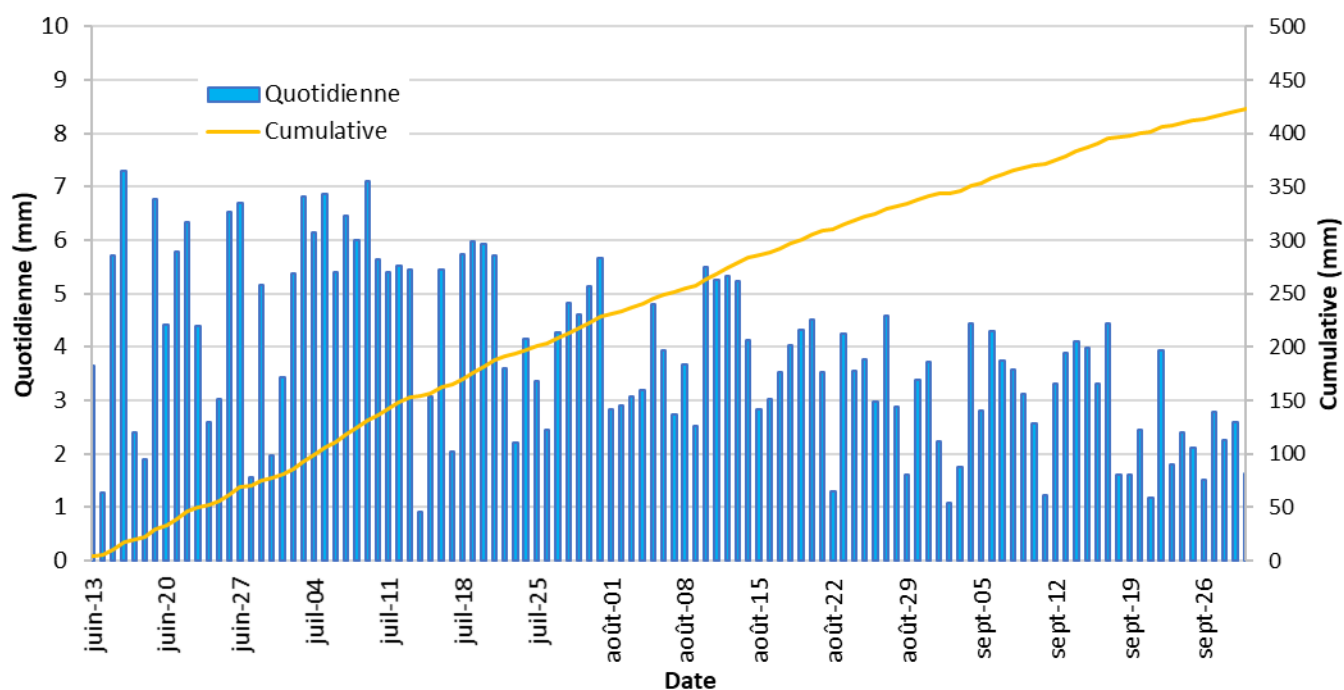


Figure 3. Évapotranspiration potentielle (mm) quotidienne et cumulative entre le 13 juin et le 30 septembre 2018.



## GESTION DES IRRIGATIONS

La gestion des irrigations a été réalisée selon la régie du producteur. En plus des outils de gestion de l'irrigation usuels, la régie était supportée par des bulletins d'irrigation périodiques (*L'Hebdeau: un projet pilote qui propose des outils d'aide à la décision pour la gestion de l'irrigation*). Ces bulletins proposaient des temps d'irrigation basés sur les données d' $ET_p$  des stations météorologiques. Les demandes en  $ET_p$  étaient ainsi converties en temps d'irrigation théorique. Les épisodes d'irrigation sont présentés au Tableau 4. L' $ET_c$  a été calculée avec les coefficients culturaux issus de Boivin et coll., 2018.

**Tableau 4. Suivi des irrigations et de l'équivalence en hauteur d'eau (mm) pour la butte à 42 et 31 po ainsi que l'ET<sub>c</sub>.**

Date	Nombre d'irrigations	Équivalence en hauteur d'eau (mm)		ET <sub>c</sub>
		Butte 42 po.	Butte 31 po.	
07-11	1	2,2	1,5	1,6
07-12	2	5,0	3,3	1,7
07-13	1	2,3	1,6	1,6
07-18	1	2,3	1,6	2,3
07-19	2	5,9	4,0	2,4
07-20	2	5,5	3,7	2,4
07-21	2	3,2	2,1	2,9
07-22	2	2,8	1,9	1,8
07-28	2	3,2	2,2	2,4
07-29	3	4,7	3,2	2,3
07-30	3	3,5	2,4	2,6
07-31	2	3,4	2,3	2,8
08-01	1	1,4	1,0	1,4
08-02	1	1,2	0,8	1,5
08-04	1	1,2	0,8	1,9
08-05	1	2,5	1,7	2,9
08-06	1	3,1	2,1	2,4
08-08	1	1,3	0,9	2,2
08-11	1	2,1	1,4	3,2
08-12	1	1,9	1,3	3,2
08-13	2	2,5	1,7	3,1
08-14	2	3,8	2,6	2,5
08-17	1	1,3	0,9	2,1
08-20	2	3,2	2,1	2,7
08-21	1	1,3	0,9	2,1
08-25	3	2,9	1,9	2,3
08-27	1	1,6	1,1	2,7
08-29	1	2,3	1,5	1,0
08-31	1	1,8	1,2	2,2
09-01	1	2,7	1,8	1,3
09-06	2	4,0	2,7	2,6
09-08	1	2,3	1,6	2,1
09-09	1	1,8	1,2	1,9
09-10	1	2,2	1,5	1,5
09-14	2	5,0	3,4	2,5
09-15	1	2,4	1,6	2,4
09-16	1	2,3	1,5	2,0
09-17	1	2,7	1,8	2,7
09-18	2	2,6	1,8	1,0
09-24	1	2,5	1,7	1,4
<b>Total</b>	59	110,0	74,0	87,5

\*Selon Boivin et coll., 2018

\*\* Hauteur d'eau moyenne calculée avec une efficacité fixée à 90 %.

## STATUT HYDRIQUE DU SOL

L'évolution du statut hydrique du sol des traitements a été suivie avec des sondes TDR disposées de manière à évaluer les mouvements d'eau dans le système cultural. Un schéma d'installation des sondes a été inséré au bas de chacune des figures. Quatre traitements sont commentés plus en détail pour la période comprise entre le 19 juin et le 2 octobre 2018.

- T1 (59 616 - Conv. - 31 po) à la Figure 4

L'évolution du statut hydrique dans les 30 premiers cm du sol de la butte du T1 a été suivie à l'aide de 4 sondes TDR, soit 2 près du tube de goutte-à-goutte (Vert et Bleu foncé) et 2 vers les épaules de la butte (Bleu pâle et Rouge). Au début de la saison, le statut hydrique du sol se maintient au centre de la butte (Vert et Bleu pâle). La première zone où un assèchement marqué est observé est celle de l'épaule où la sonde est près d'un plant (Rouge). Les prélèvements de la culture augmentent et cette zone n'est peu, voire pas, à la portée du système d'irrigation. Les précipitations réapprovisionnent cette zone à l'aide de l'effet entonnoir du fraisier. Par la suite, un certain assèchement marqué s'observe au centre de la butte à partir du 1<sup>er</sup> août. L'ensemble des sondes réagissent à la pluie. Dans le cas des épaules, l'assèchement de la zone près d'un plant est plus important que celle entre deux plants.

- T4 (59 048 - Étroite - 12 po) à la Figure 5

L'évolution du statut hydrique du sol dans la butte du T4 est semblable à ce qui est observé au centre de la butte du T1. Dans le système cultural du T4 le système d'irrigation rejoint une très grande proportion du sol de la butte. La réponse marquée des sondes lors des épisodes d'irrigation et lors des périodes de prélèvement démontre que la gestion d'irrigation est plus qu'importante dans ce système. En ayant un volume de sol limité, la réserve en eau d'un tel système est réduite en comparaison avec une butte plus large. Une régie d'irrigation défaillante aurait rapidement des conséquences négatives sur un système tel que la Butte étroite où la marge de manœuvre (réserve en eau) est plus faible.

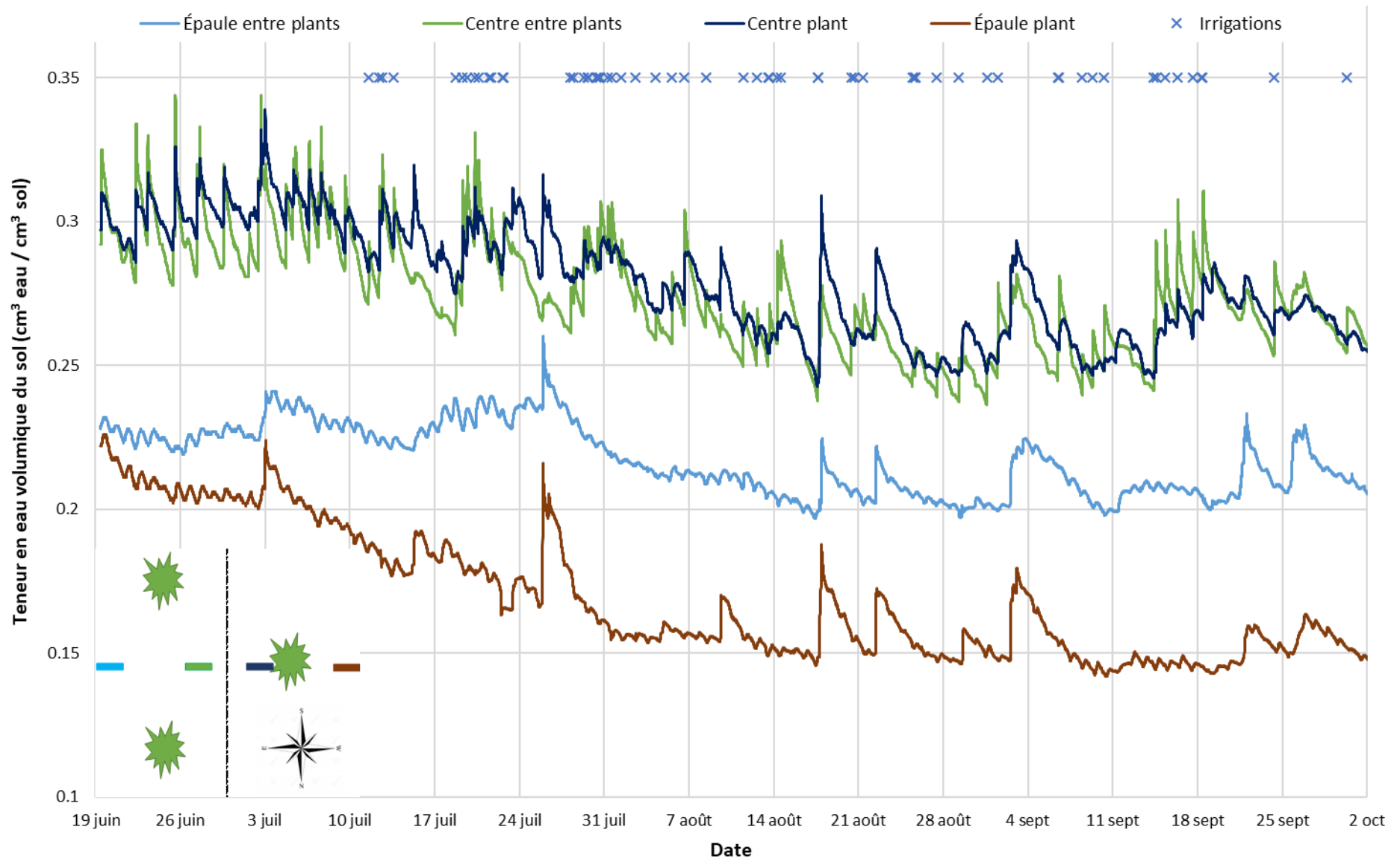
- T6 (59 048 - 2.0 - 42 po) à la Figure 6

Dans le cas du T6, l'évolution de la teneur en eau volumique du sol mesurée par les sondes installées près de chacun des deux tubes goutte-à-goutte (Jaune et Bleu foncé) diffère selon la densité de plantation. Pendant une même période, la courbe en bleu se maintient relativement stable. Les apports sont alors suffisants pour combler les prélèvements. Cependant, la sonde jaune a plutôt enregistré une chute progressive de la teneur en eau volumique (phénomène d'assèchement). Plusieurs hypothèses peuvent expliquer l'observation de ce phénomène. Il est possible que les prélèvements dans cette zone aient été plus importants, car la distance de plantation avait été réduite. Il est également possible que la sonde TDR ait été installée légèrement plus loin de l'emplacement d'un goutteur du tube. La réponse de la sonde a ainsi pu être moins marquée et moins influencée par l'irrigation. Localement, si la distance entre les plants est plus faible, la régie d'irrigation devrait être ajustée

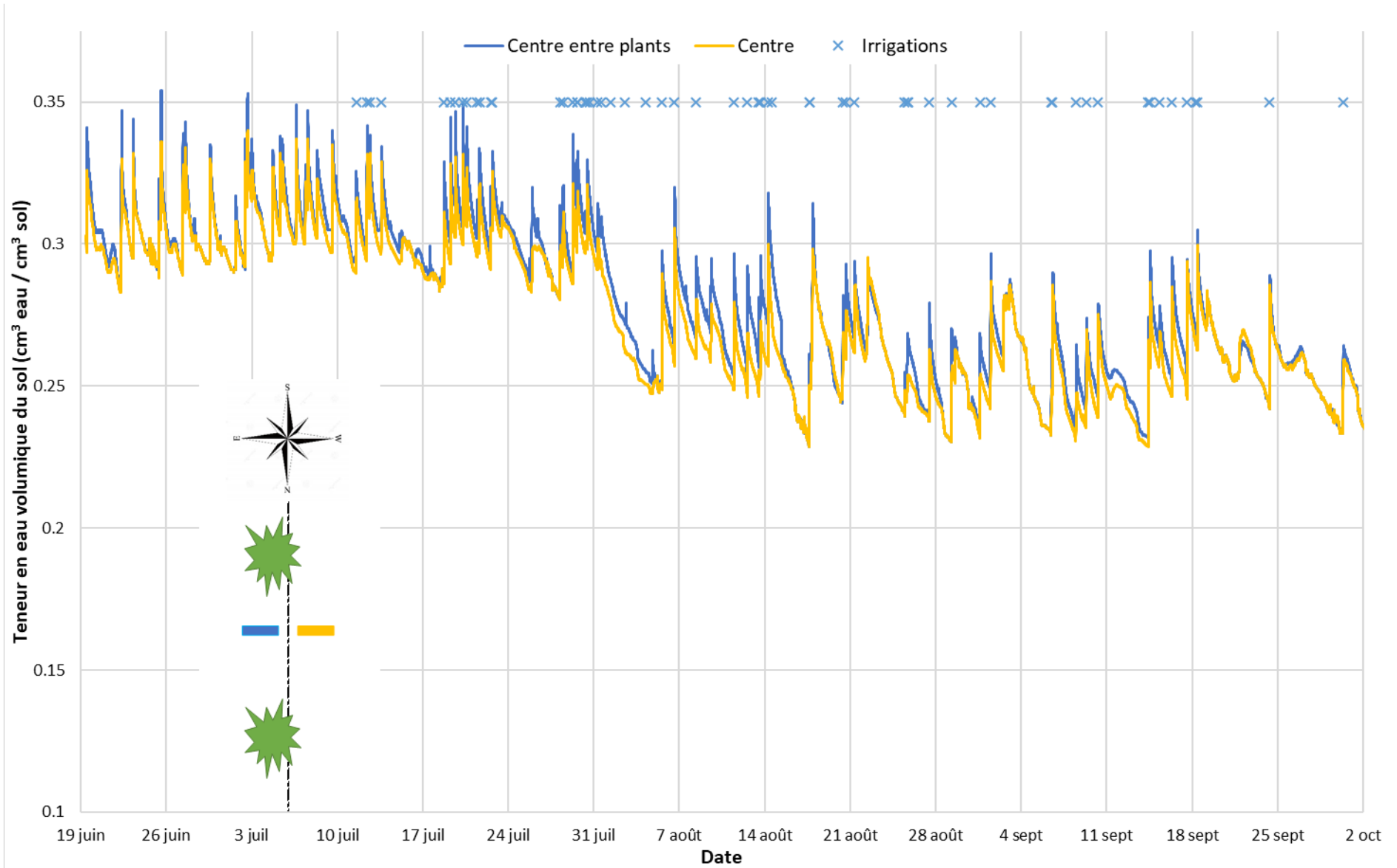
pour prendre en compte l'augmentation de la densité. Les sondes situées au centre de la butte, à proximité des piquets à angle barbés, ont bien répondu aux précipitations. De plus, dans cette zone, l'eau permet de réhumecter les épaules des petites buttes formées par la dépression ou est directement utilisée par les plants. De cette manière, ce système cultural augmenterait l'efficacité d'utilisation de l'eau de pluie grâce à la dépression et aux trous percés. Comparativement au T1, l'assèchement marqué débute une dizaine de jours plus tard, soit vers le 10 août.

- T8 (55 357 - 2.0 - 42 po) à la Figure 7

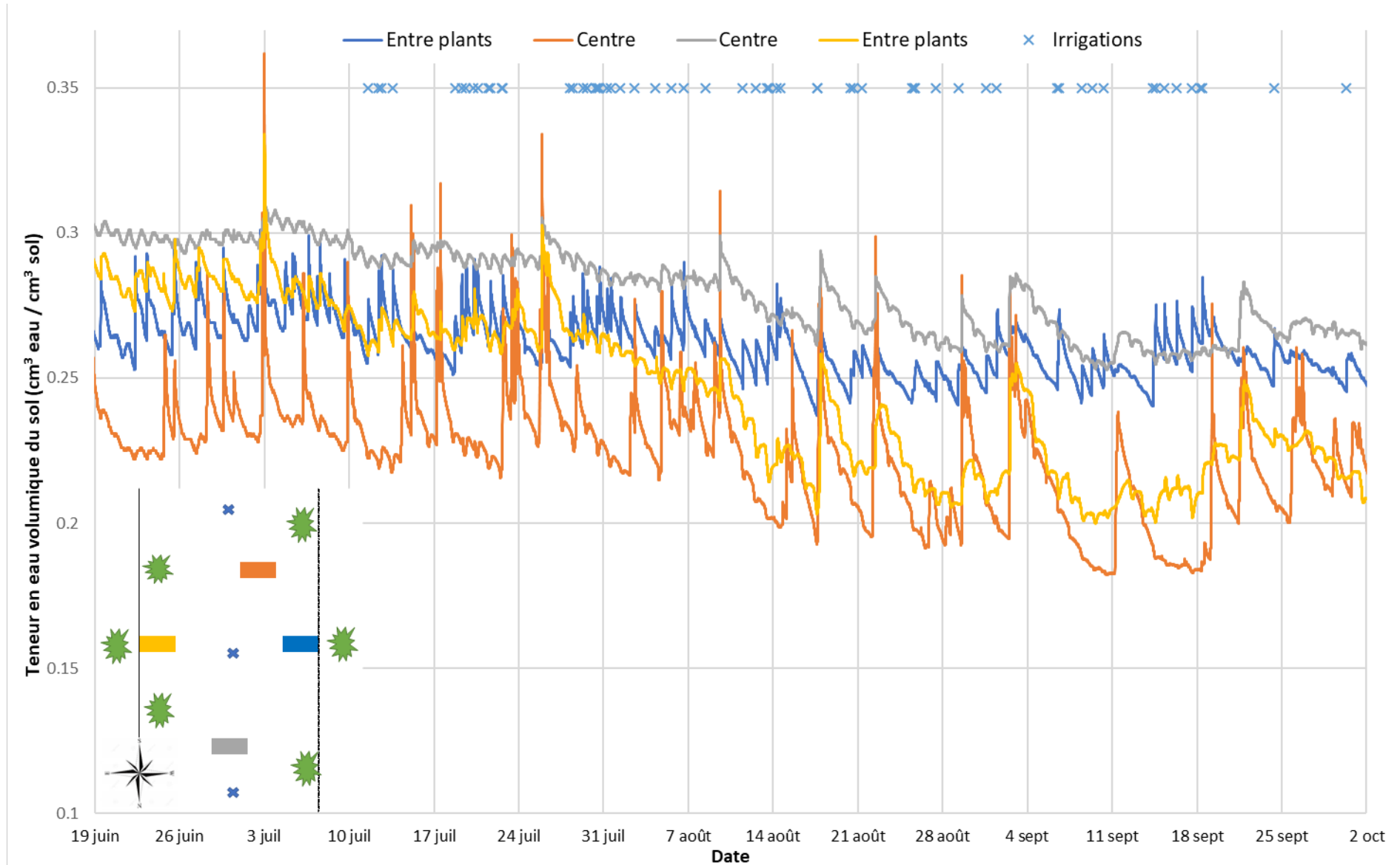
Finalement, pour le T8, il y a des similitudes avec le T6 expliqué précédemment. Au centre de la butte (Bleu et Jaune), les sondes ont également « répondu » à la pluie. Toutefois, la tendance à l'assèchement de cette zone semble davantage marquée que dans le cas de la Butte 2.0 (T6). Aussi, comme pour les T1 et T4, l'assèchement marqué débute vers le 1<sup>er</sup> août.



**Figure 4. Chronique de la teneur en eau volumique du sol ( $\text{cm}^3 \text{ eau} / \text{cm}^3 \text{ sol}$ ) selon l'emplacement de la sonde TDR et des irrigations pour T1 (59 616 – Conv. – 31 po), 19 juin au 2 octobre.**

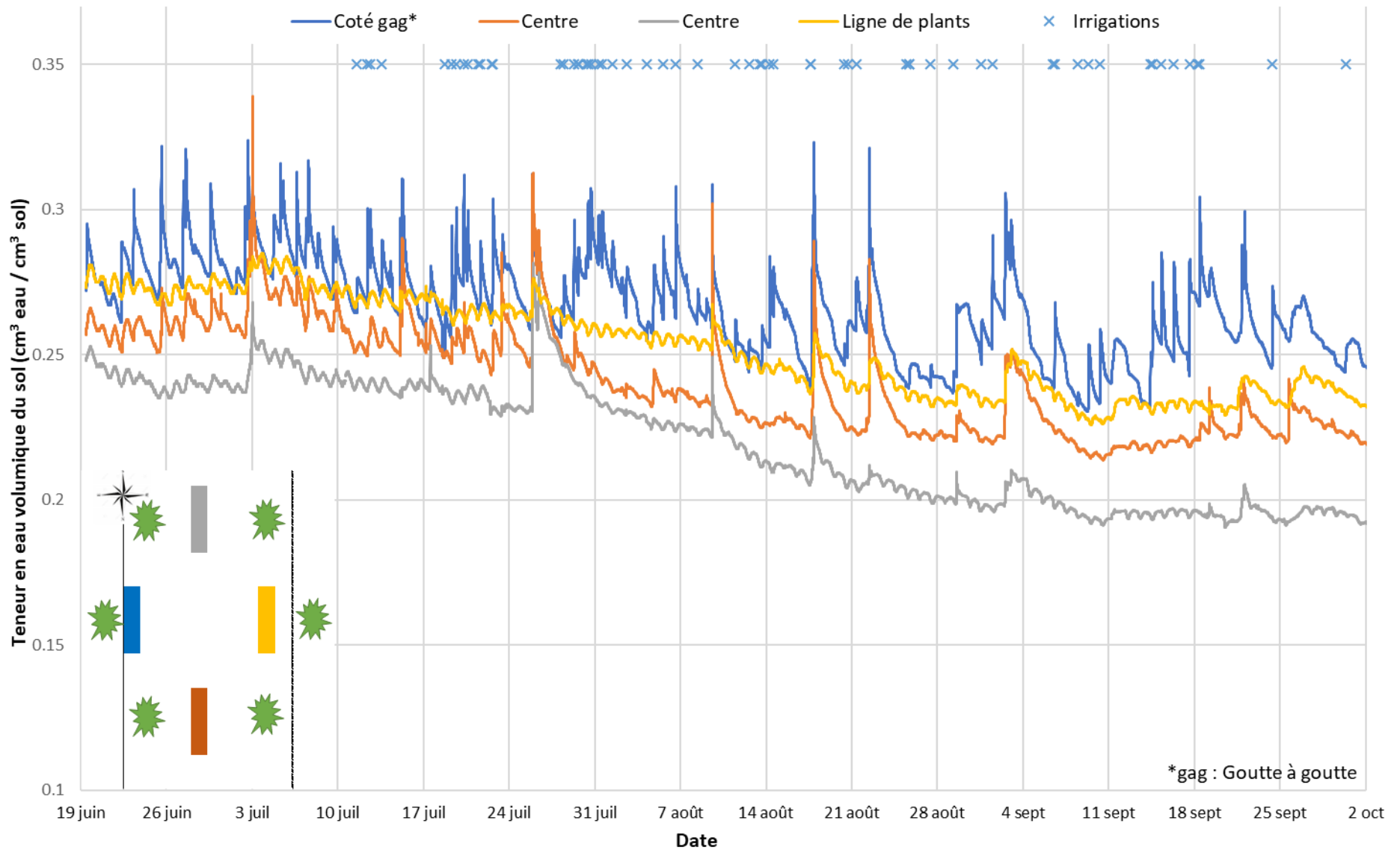


**Figure 5. Chronique de la teneur en eau volumique du sol (cm<sup>3</sup> eau/cm<sup>3</sup> sol) selon l'emplacement de la sonde TDR et des irrigations pour T4 : (59 048 – Étroite – 12 po), 19 juin au 2 octobre.**



**Figure 6. Chronique de la teneur en eau volumique du sol ( $\text{cm}^3 \text{ eau} / \text{cm}^3 \text{ sol}$ ) selon l'emplacement de la sonde TDR et des irrigations pour T6 : (59 048 – 2.0 – 42 po), 19 juin au 2 octobre.**





**Figure 7. Chronique de la teneur en eau volumique du sol ( $\text{cm}^3 \text{ eau} / \text{cm}^3 \text{ sol}$ ) selon l'emplacement de la sonde TDR et des irrigations pour T8 : (59 048 – Conv. – 42 po), 19 juin au 2 octobre.**

## Efficacité de la pluie

Tel que constaté, dans les buttes larges (42 po) telles que la Butte 2.0 (T6) et la Butte conventionnelle large (T8), le centre de la butte peut être humidifié par la pluie. Pour le T8, l'eau provenant des précipitations doit passer via les trous de plantation pour éventuellement atteindre le centre de la butte. En ce qui a trait au T6, en plus de la participation des trous de plantation, l'eau peut atteindre directement le centre de la butte via les piquets à angle barbés, même si la hauteur d'eau reçue est faible (le nombre de pics est plus élevé avec la courbe orange).

L'évolution de teneur en eau du sol mesurée par les des deux sondes TDR installées au centre de la butte a été comparée pour le T6 et T8 et est présentée à la Figure 8. À l'aide de ces courbes et de la pluviométrie mesurée au site, il est possible de constater que les deux sondes réagissent bien à la pluie, mais celle installée dans le T8 semble réagir uniquement lorsque de plus fortes précipitations sont enregistrées.

Quelques épisodes de pluie ont été décortiqués et sont présentés aux Figure 9, Figure 10 et Figure 11. Lorsque les précipitations sont faibles (< 10 mm), il n'y a que dans la Butte 2.0 où une réponse est mesurée. À environ 10 mm de pluie, une faible réponse de la sonde du T8 est enregistrée tandis qu'à 15 mm, les 2 sondes « réagissent » bien aux apports de pluie. Ces éléments mettent en lumière plusieurs aspects d'importance à considérer. Le système cultural de la Butte 2.0, avec la création d'une dépression centrale, concentre l'eau d'une grande surface vers les piquets barbés. Une grande quantité d'eau peut ainsi être dirigée à un endroit localisé. Pour créer des carrefours de prélèvement en eau et en nutriments performants, plusieurs aspects comme la taille, l'espacement et la disposition des trous devront être considérés. Des essais à plus grande échelle devront être menés pour déterminer une combinaison qui ne réduit pas les bénéfices du paillis de plastique tels que le réchauffement du sol et la diminution de l'évaporation.

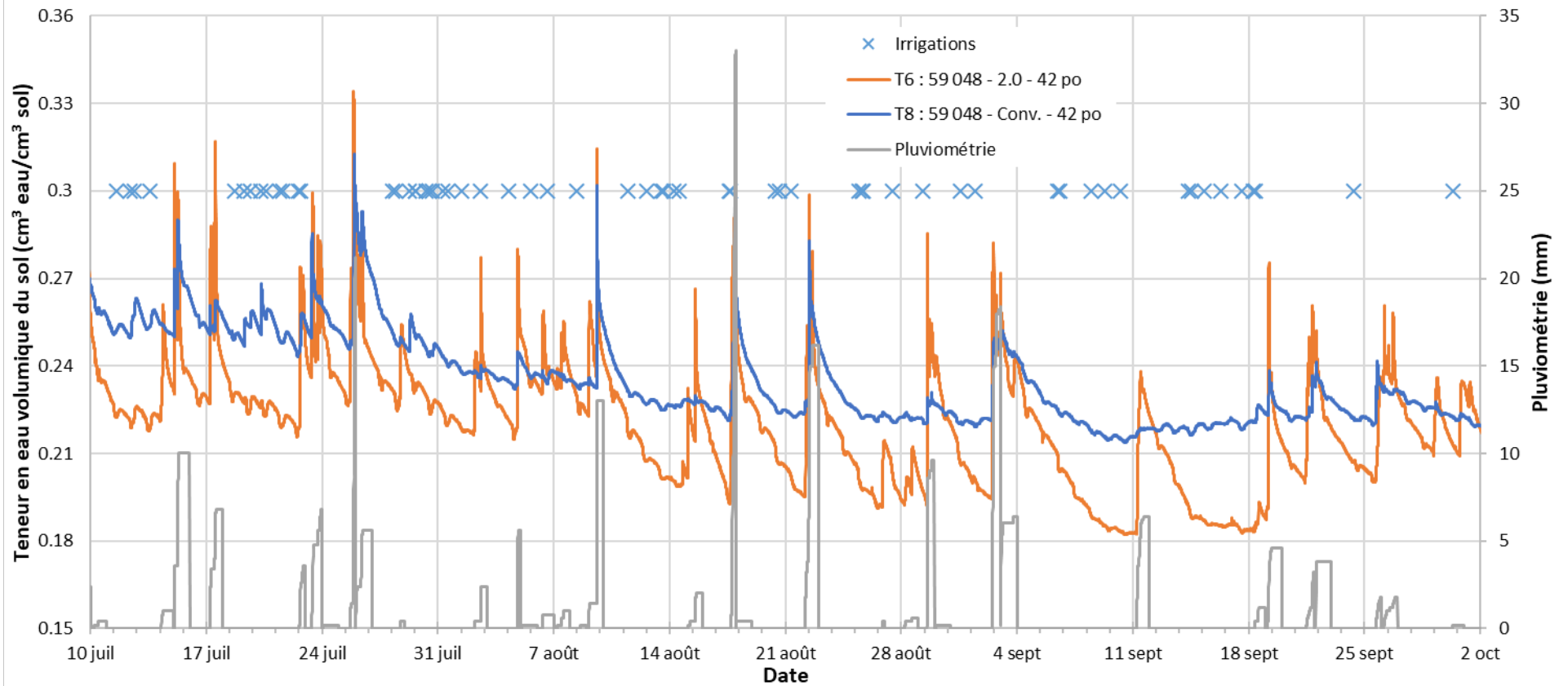


Figure 8. Chronique de la teneur en eau volumique du sol ( $\text{cm}^3 \text{ eau} / \text{cm}^3 \text{ sol}$ ), la pluviométrie (mm) et des irrigations pour les sondes TDR de T6 et T8, situées au centre de la butte.

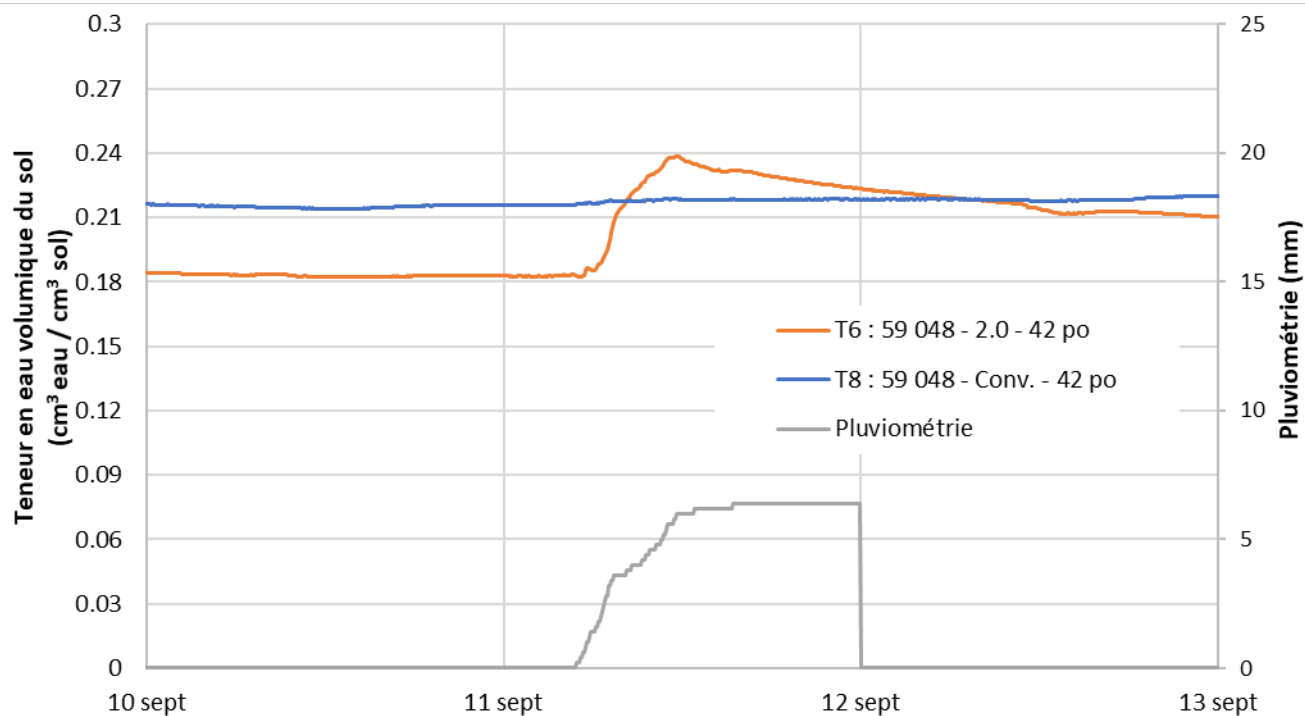


Figure 9. Effet d'une faible pluviométrie ( $\leq 10$  mm) sur la teneur en eau volumique ( $\text{cm}^3 \text{ eau} / \text{cm}^3 \text{ sol}$ ) du sol au centre de la butte, T6 et T8.

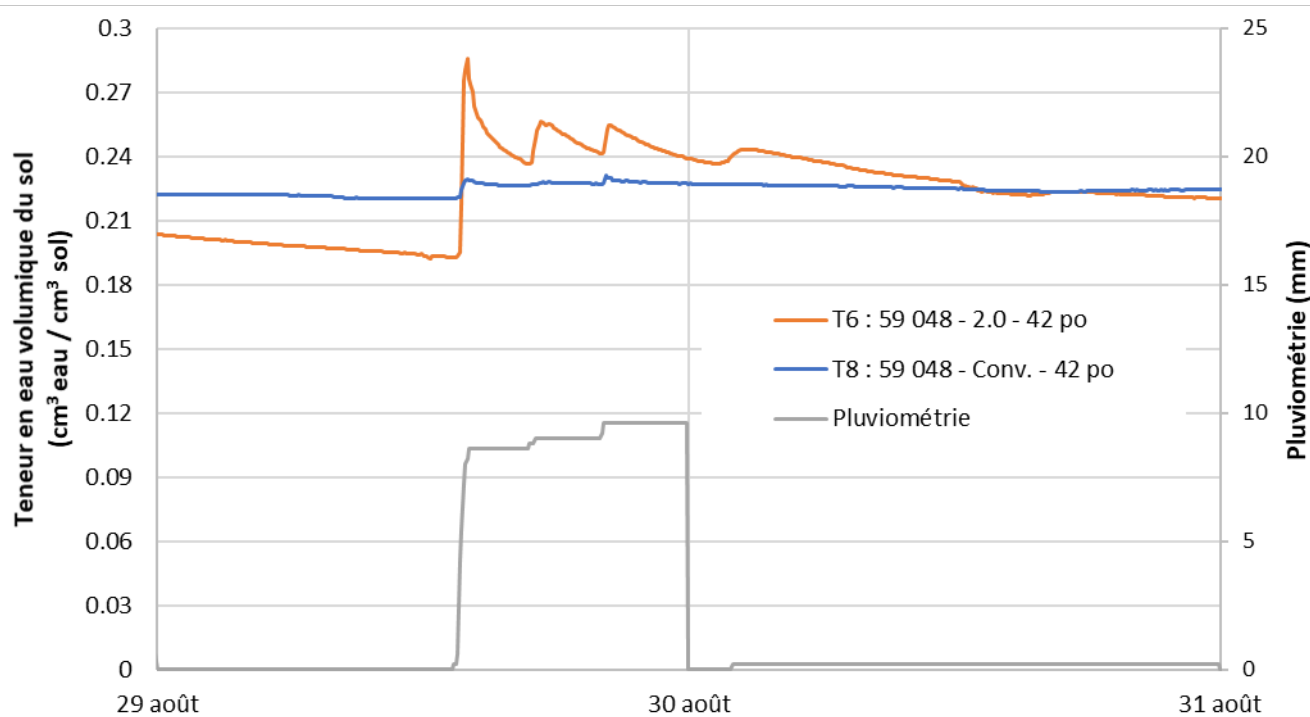


Figure 10. Effet d'une faible pluviométrie ( $\approx 10$  mm) sur la teneur en eau volumique ( $\text{cm}^3 \text{ eau} / \text{cm}^3 \text{ sol}$ ) du sol au centre de la butte, T6 et T8.

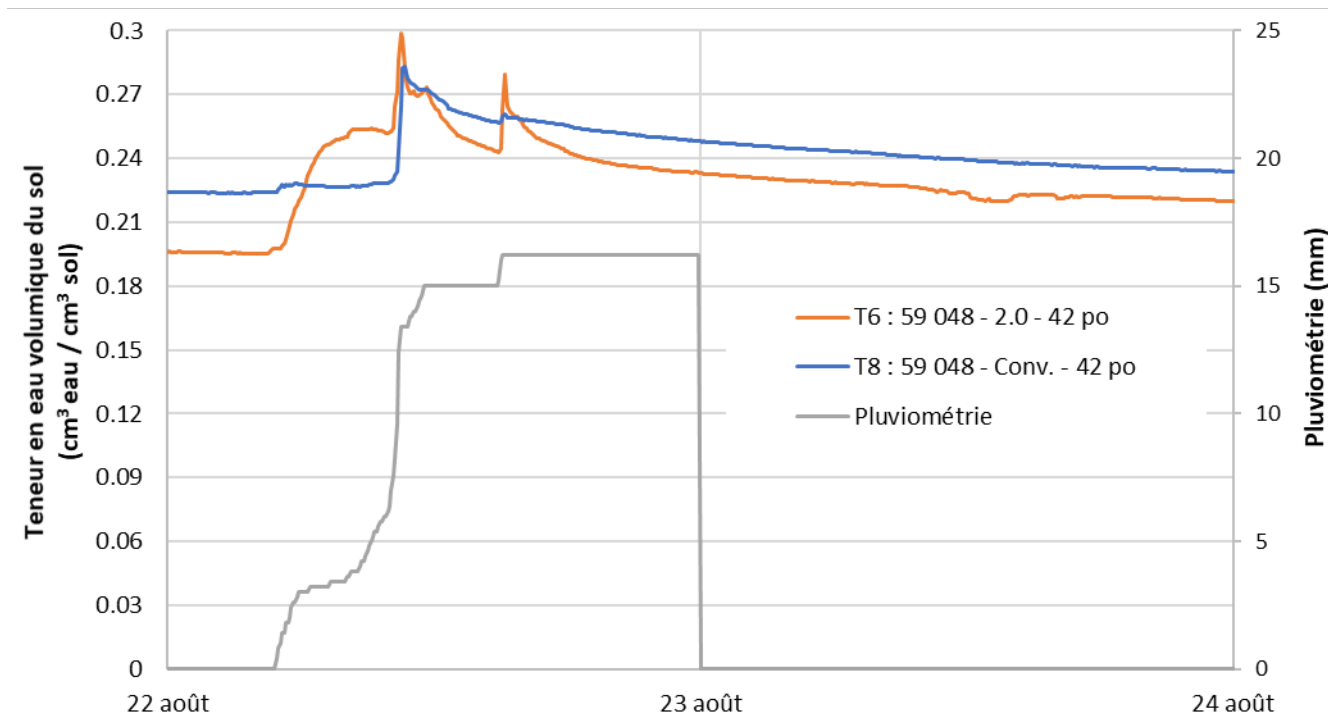


Figure 11. Effet d'une moyenne pluviométrie (≈15 mm) sur la teneur en eau volumique (cm<sup>3</sup> eau / cm<sup>3</sup> sol) du sol au centre de la butte, T6 et T8.

## EFFICACITÉ DE L'EAU DE PLUIE

Remanier le système cultural de la fraise à jours neutres en vue de maximiser l'efficacité de l'eau de pluie n'est pas une tâche facile. Plusieurs éléments techniques comme la faisabilité technique ou la méthode de récolte doivent être considérés. Strictement d'un point de vue de la gestion hydrique du système cultural, certaines combinaisons semblent être potentiellement plus intéressantes pour augmenter l'efficacité de l'eau et plus particulièrement celle de la pluie. La Figure 12 et la Figure 13 imagent bien ce propos. Dans le cas de la butte conventionnelle à 31 po de largeur, seules les sondes à proximité d'un trou de plantation « profitent » de la pluie. Les autres, étant situées trop loin d'un trou de plantation, ne mesurent pas de variation dans la teneur en eau volumique du sol. La Butte 2.0 de 42 po de largeur avec sa zone centrale perméable permet à l'eau d'humecter le centre de la butte. Dans ce contexte cultural, l'efficacité de l'eau de pluie est certainement plus importante. Les essais avec la Butte 2.0 avaient notamment pour but d'augmenter les zones pouvant être qualifiées de carrefours de prélèvement en eau et en nutriments en augmentant le volume de sol à la portée de la pluie. Cette modification plutôt mineure apporte maintenant un nouveau regard sur ce que serait, d'un point de vue hydrique, le meilleur système cultural.

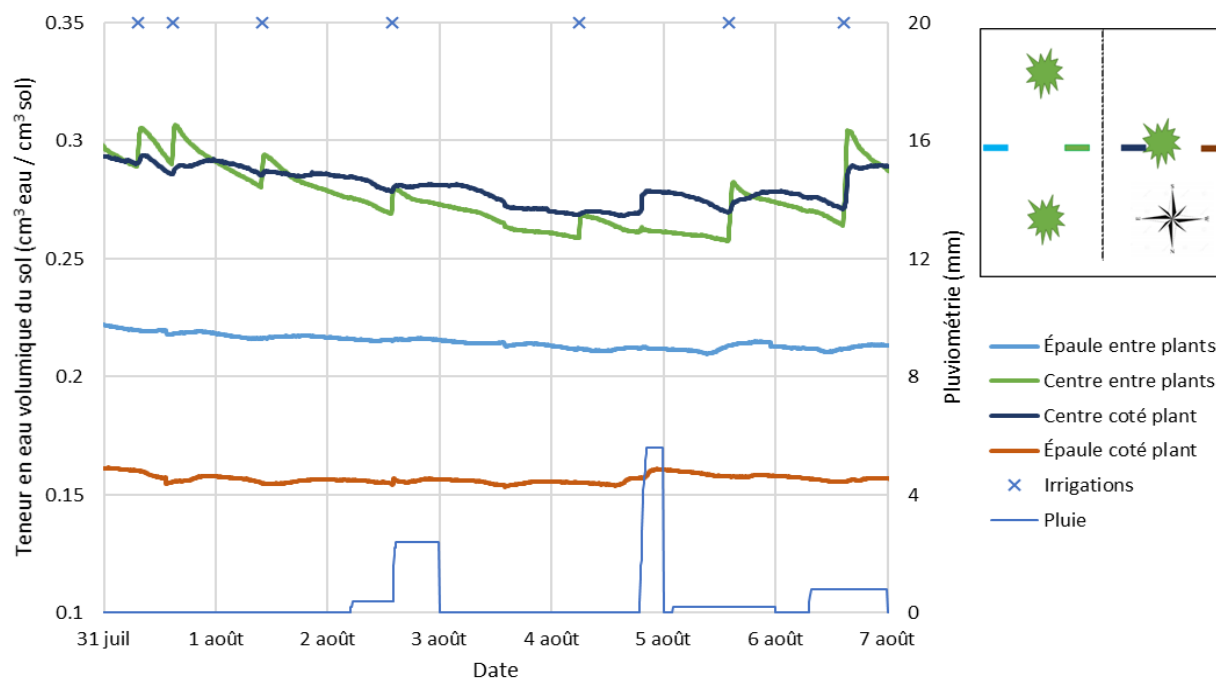


Figure 12. Effet d'une faible pluviométrie (< 10 mm) sur la teneur en eau volumique du sol ( $\text{cm}^3 \text{ eau} / \text{cm}^3 \text{ sol}$ ) près du centre de la butte et à proximité de l'épaule, T1 : 59 616 – Conv. – 31 po.

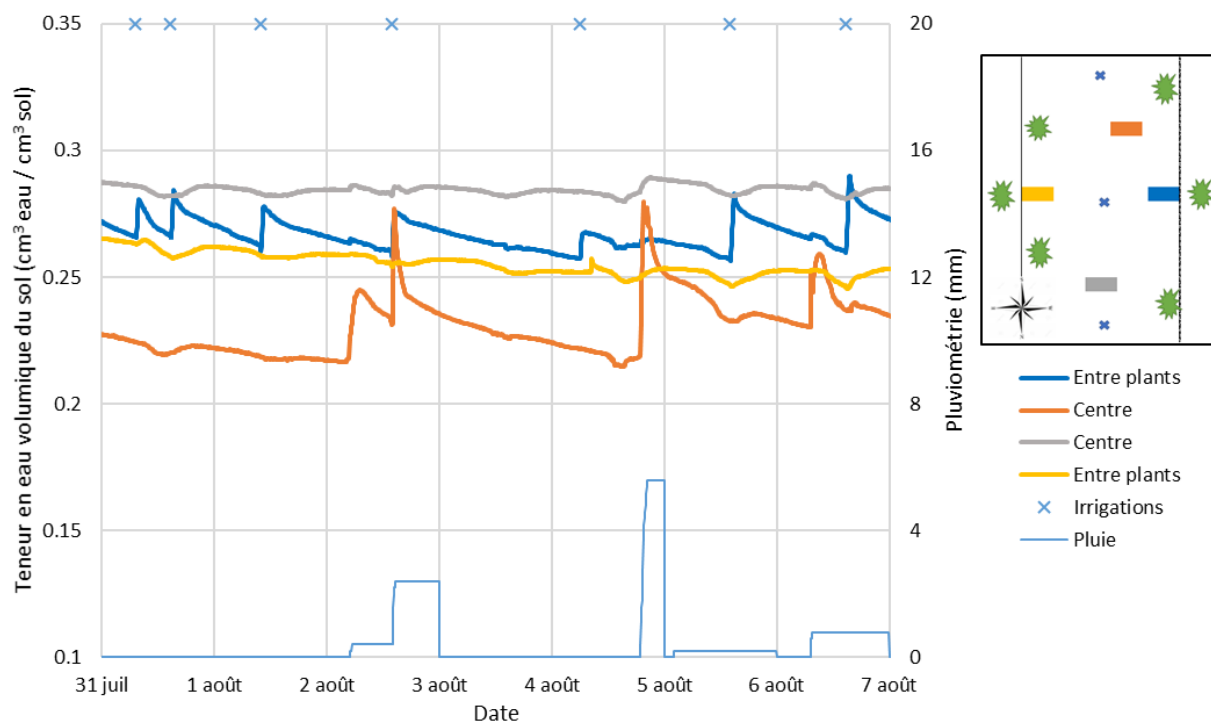


Figure 13. Effet d'une faible pluviométrie (< 10 mm) sur la teneur en eau volumique du sol ( $\text{cm}^3 \text{ eau} / \text{cm}^3 \text{ sol}$ ) près du centre de la butte et à proximité des plants, T6 : 59 048 – 2.0 – 42 po

En émettant l'hypothèse qu'il serait possible de mécaniser le façonnement d'une butte de 42 po de largeur avec des entre-rangs ayant la même largeur que la butte conventionnelle de 31 po. Les caractéristiques de ce nouveau système cultural sont décrites au Tableau 5. Un système cultural plus large ayant 4 rangs de fraisiers permettrait d'augmenter la superficie du champ couverte par les buttes de 7 %. Donc, en utilisant une plus grande proportion du sol, la densité de plantation à l'hectare pourrait potentiellement augmenter. De plus, le volume de sol pouvant être à la portée des plants augmenterait de 211 m<sup>3</sup>/ha. En émettant l'hypothèse que la réserve facilement utilisable en eau du sol (RFU) est de 15 mm pour 30 cm de sol, le nouveau système pourrait bénéficier d'une réserve en eau supplémentaire d'environ 10 m<sup>3</sup>/ha.

**Tableau 5. Caractéristiques comparatives du nouveau système cultural.**

Caractéristiques	Système cultural	
	T1 - Témoin producteur	Nouveau
Largeur (po)		
Bas de la butte	31	42
Haut de la butte	24	36
Entre-rang	21	21
Nombre de tube de gâg	1	2
Nombre de rangs de fraisiers	2	4
Surface gérée par goutteur (po <sup>2</sup> )*	248	168
Superficie du champ couverte par les buttes (%)	60	67
Volume de sol** (m <sup>3</sup> /ha)	1788	2000

\*Considérant un espacement entre les goutteurs de 8 po

\*\*Considérant une profondeur de la butte de 30 cm

La création de la dépression au centre de la butte dans le traitement de la Butte 2.0 avait comme objectif de concentrer l'eau de pluie vers les piquets à angle barbés. Cette stratégie visait à augmenter l'efficacité de l'eau de pluie, ce qui a été démontré de manière qualitative lors de cette présente étude. Cette stratégie est d'autant plus intéressante que le centre peut devenir un carrefour de prélèvement (Figure 18).

Un des défis de ce concept sera de créer des zones perméables où l'eau y sera concentrée. Dans les essais exploratoires menés dans ce projet, la dépression a été créée à l'aide de sacs remplis de sable. L'implantation à grande échelle est, certes, difficilement envisageable, c'est pourquoi une autre stratégie d'interception de la pluie devra être mise en place.

L'efficacité de l'eau de pluie dans un système cultural de la fraise à jours neutres a été très peu étudiée. Néanmoins, Bergeron (2015) a mesuré l'efficacité de la pluie pour 3 épisodes distincts. L'efficacité a varié entre 22 et 55 %. Pour une saison comme celle de 2018 et en utilisant une efficacité de la pluie à 40 %, le système



cultural aurait bénéficié de 112 mm de la pluie sur 280 mm de pluviométrie enregistrée entre le 13 juin et le 30 septembre. Ce sont des quantités appréciables d'eau qui sont détournées du système cultural. La création de zones perméable permettrait d'augmenter l'efficacité. Bien qu'il soit hypothétique d'estimer la nouvelle efficacité du système, il demeure intéressant d'évaluer le gain potentiel maximal qui aurait pu être atteint en 2018 (Tableau 6).

**Tableau 6. Quantité d'eau retenue (m<sup>3</sup>/ha) par un système cultural avec butte de 42 po de large selon l'efficacité de la pluie.**

Effacité (%)	Quantité d'eau dans le système* (m <sup>3</sup> /ha)
40	746
50	933
60	1120
70	1306

\*Il s'agit d'une quantité d'eau présente dans le système qui est potentiellement retenue par le sol., basé sur une pluviométrie de 280 mm.

Dans cet exemple, à chaque augmentation de 10 % de l'efficacité de la pluie, 187 m<sup>3</sup>/ha (18,7 mm) supplémentaire sont captés par le système cultural. Bien évidemment, il s'agit d'une quantité brute qui ne tient pas en compte de l'efficacité de l'utilisation de l'eau de la culture. De plus, en créant de nouvelles zones perméables, il faudrait également s'attendre à une augmentation de l'évaporation de l'eau qui pourrait s'échapper par les trous.

## RENDEMENTS ESTIMÉS

Une estimation des rendements s'est faite en effectuant des décomptes de fruits verts. Le nombre total de fruits verts relatif (4 décomptes) est présenté pour chacun des traitements à la Figure 14. Le nombre de fruits verts a été plus élevé pour le (par ordre décroissant) : le témoin producteur *hors dispositif*, la butte 42 po de large avec 4 rangs en quinconces et une densité de 68 132 plants/ha (T5), le témoin producteur (T1), la butte de 12 po de large avec une densité comparable au témoin (T4) et finalement les T8, T6, T3, T7, T2 et T9.

Le traitement avec le nombre de fruits verts le plus faible est le T9 (butte de 42 po de large, 4 rangs en quinconces et densité à 55 357) avec 77 % du nombre obtenu avec le T5. Même si ce traitement affiche une densité réduite de 7 % par rapport au témoin (T1), la réduction d'un peu plus de 20 % des fruits verts dénombrés lors des décomptes indique une chute importante qui ne peut être attribuable à la densité. De plus, plusieurs traitements affichent une densité plus élevée que le traitement témoin, mais cela ne s'est pas répercuté dans les décomptes de fruits verts. Finalement, le traitement producteur *hors dispositif* présente un nombre de fruits 12 % plus élevé que le traitement producteur Témoin (T1).

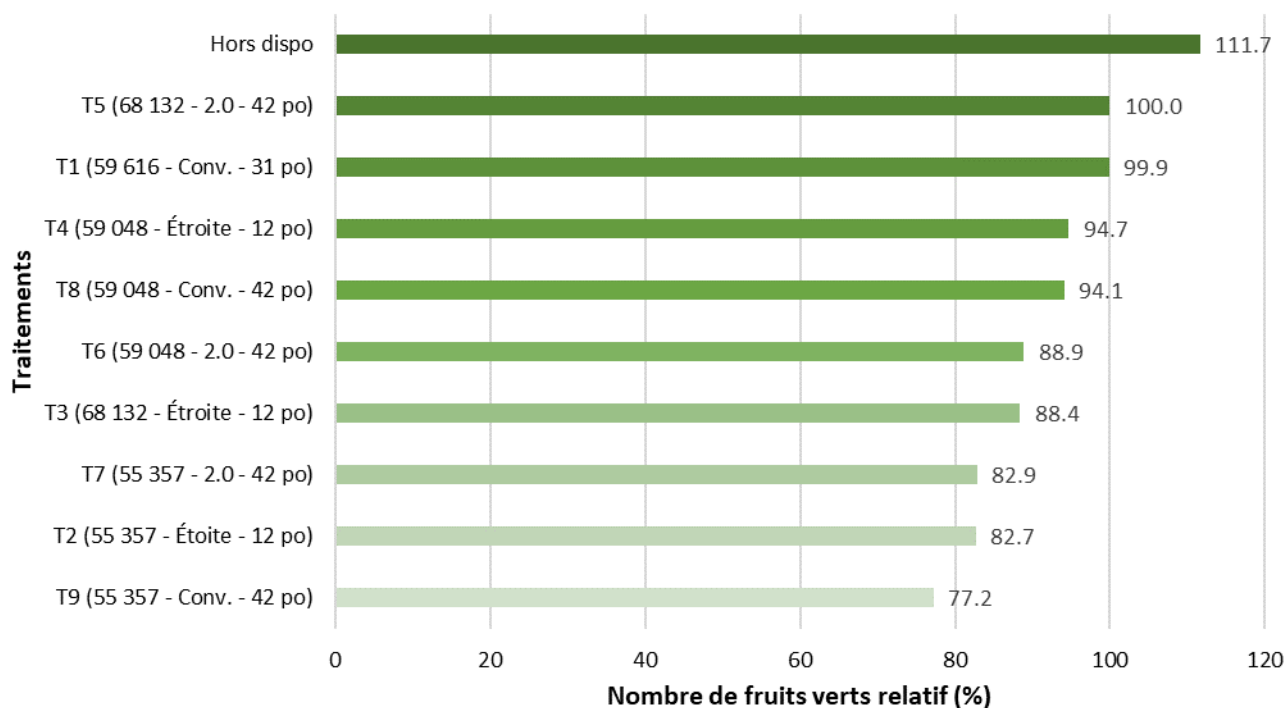


Figure 14. Nombre de fruits verts relatif (%) selon les traitements.

## VITESSE DE RÉCOLTE

L'évaluation de la vitesse de récolte est présentée à la Figure 15. Il s'agit en fait de la vitesse moyenne des deux périodes de mesure. La parcelle *hors dispositif* (s'apparentant à T1) s'est démarquée puisque les récolteurs ont atteint une vitesse de 286 g/min. Pour les autres traitements, l'architecture de la butte ou la densité de plantation ne semble pas avoir été des éléments déterminants dans la vitesse de récolte observée. En plus de fournir le meilleur rendement (potentiel), la parcelle *hors dispositif*, avec une l'architecture de la butte conventionnelle et une densité de 59 616 plants/ ha, semble être le système cultural qui permet d'obtenir la plus grande performance agronomique globale. Toutefois, tel que présenté précédemment, le rendement estimé de la parcelle *hors dispositif* est plus élevé en comparaison avec le traitement témoin de 12 %. Ainsi, il est difficile de conclure à propos de la vitesse de récolte, puisqu'il n'y a pas été possible de comparer avec le traitement témoin (T1). De plus, il existe certainement une habitude des cueilleurs pour récolter les fraises dans l'architecture conventionnelle. Il est toutefois impossible de le quantifier, mais avec le temps, la vitesse de récolte des autres architectures pourrait augmenter.

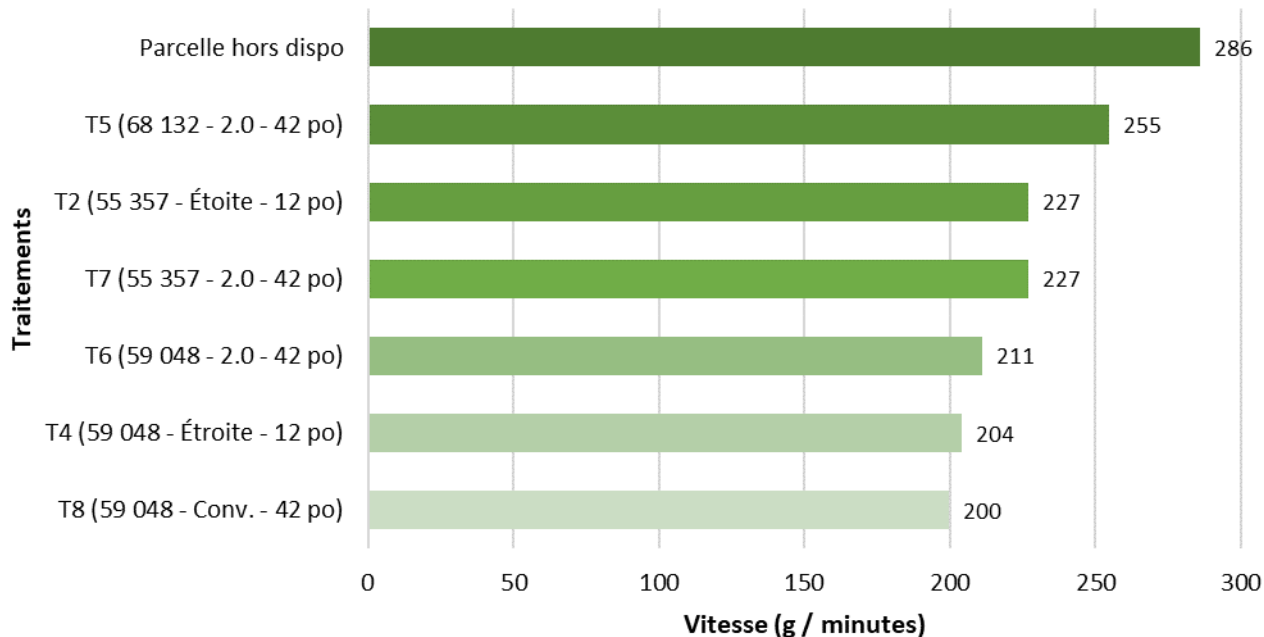


Figure 15. Vitesse de récolte (g de fruit/minute) en fonction des traitements.

## 6 CONSTATS

---

En sol léger ou drainant, le système actuel de la fraise à jours neutres est grandement dépendant de l'irrigation et plusieurs apports sont généralement nécessaires quotidiennement. Quoiqu'elle puisse varier d'une entreprise ou même d'un champ à l'autre, la proportion de la superficie du champ occupé par les entre-rangs peut facilement être aussi élevée que 40 %. De plus, une proportion importante du volume de sol butté n'est pas à la portée du système d'irrigation.

En augmentant la proportion de la butte qui joue le rôle de carrefour de prélèvement, lors d'un apport en eau provenant de l'irrigation, mais surtout des précipitations, la dépendance à l'irrigation est diminuée. Ce projet a exploré différentes pistes pour améliorer l'efficacité d'utilisation de l'eau. Les résultats obtenus indiquent qu'il est possible de profiter davantage de l'eau provenant des précipitations, même quand la hauteur reçue est faible. Cependant, un ou des facteurs semblent avoir négativement influencé la productivité de la culture à l'intérieur du dispositif. Dans ce cadre, il est difficile de se prononcer sur l'impact des interventions sur les rendements et la vitesse de récolte.

Aussi, d'imaginer les interventions qui pourraient être apportées au système cultural de la fraise à jours neutres est une chose, mais pouvoir les concrétiser avec la machinerie, qui est spécialisée, en est une autre. Enfin, nous sommes déterminés à poursuivre d'autres essais et tout aussi convaincus de la pertinence agronomique, économique et environnementale d'intervenir pour modifier le système cultural actuel de la fraise à jours neutres.

## 7 ANNEXE

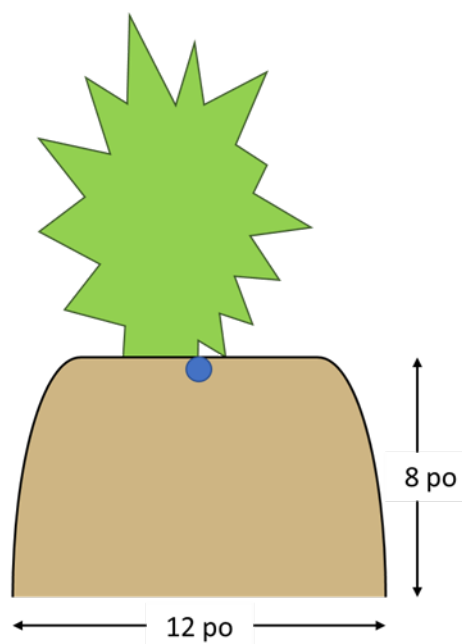


Figure 16. Schéma de la butte étroite.

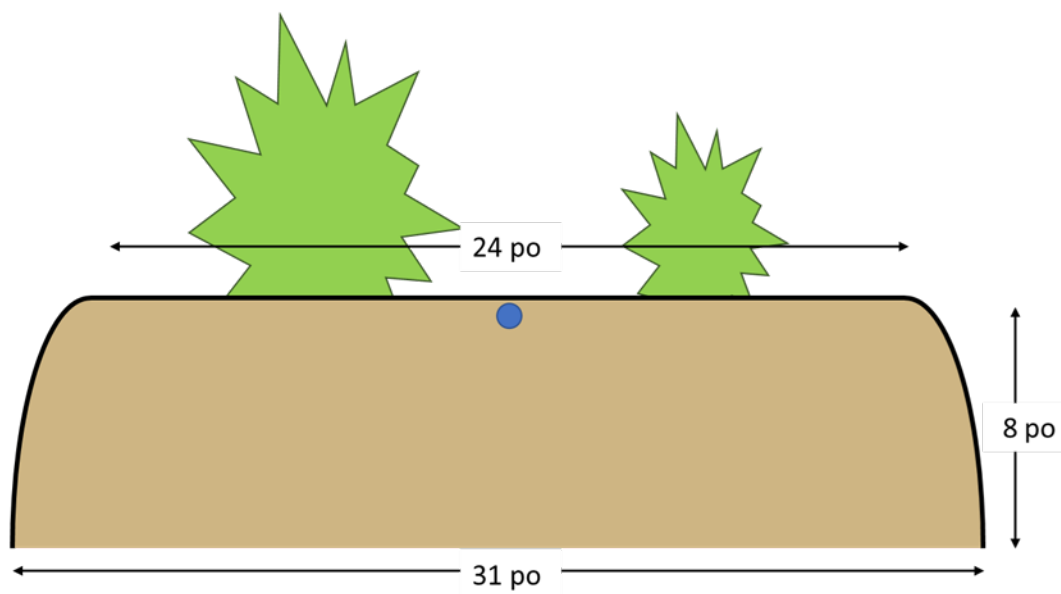


Figure 17. Schéma de la butte témoin producteur.

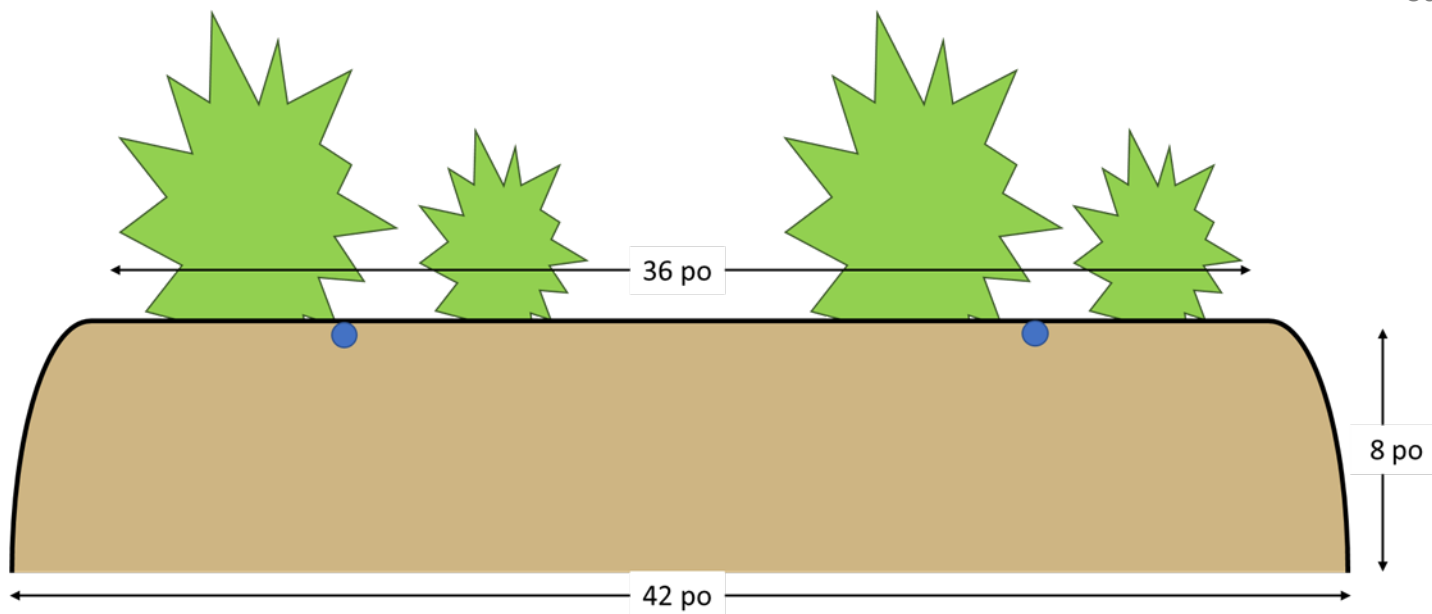


Figure 18. Schéma de la butte conventionnelle 4 rangs.

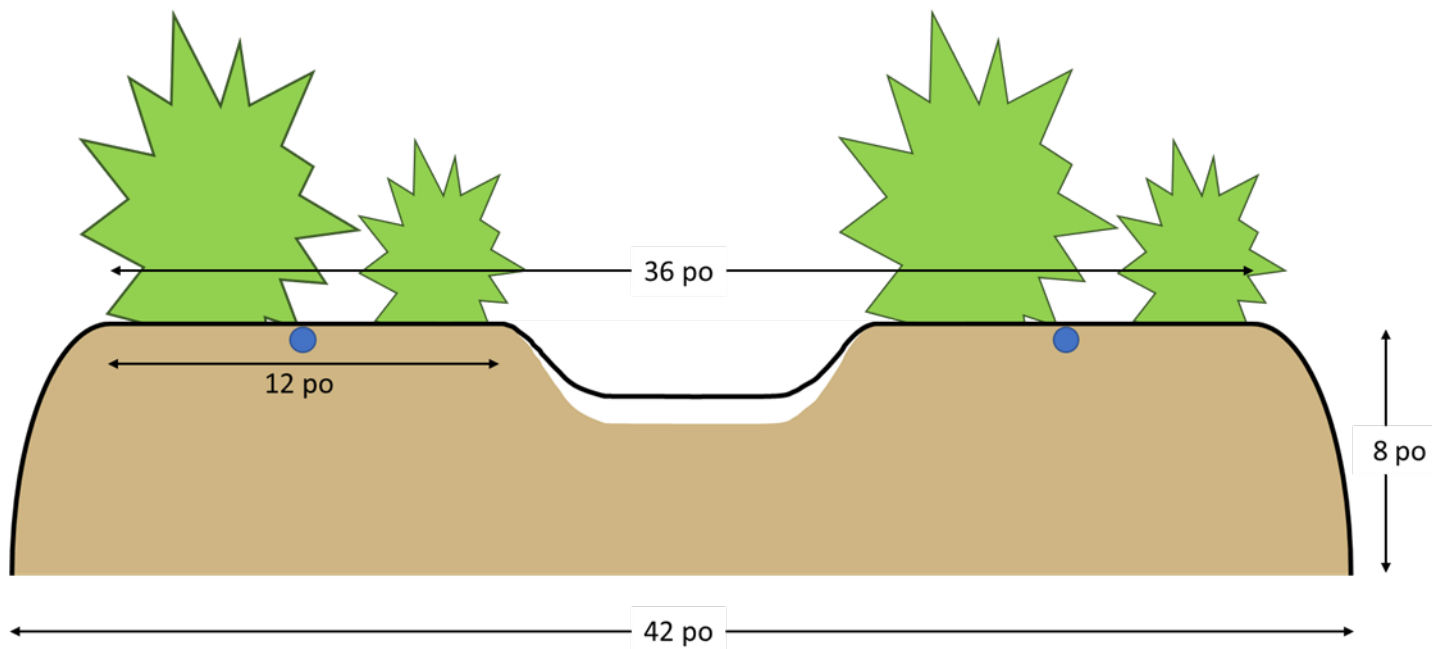


Figure 19. Schéma de la butte 2.0.





**Figure 20. Exemple d'une Butte 2.0 sans paillis de plastique (essais préliminaires IRDA Deschambault).**





**Figure 21. Implantation des traitements.**

AMÉLIORER L'EFFICACITÉ D'UTILISATION DE L'EAU DE PLUIE ET D'IRRIGATION PAR LA CULTURE :  
INTERVENIR DANS LE SYSTÈME CULTURAL DE LA FRAISE - FÉVRIER 2019





Figure 22. Exemple d'une Butte 2.0 avec des piquets barbés installés au centre.





**Figure 23. Vue d'ensemble des Buttes 2.0 avec les sacs de sable disposés au centre.**

## 8 BIBLIOGRAPHIE

- Bergeron, D., 2015. Questions-réponses en irrigation, Journées horticoles et grandes cultures, 2 décembre 2015.
- Bergeron, D. 2017. Irriguer avec l'eau du fleuve – problématiques et contexte règlementaire. Atelier sur l'eau d'irrigation. Québec. 12 décembre 2017.
- Boivin, C. et coll. 2018. Gestion raisonnée de l'irrigation – Guide technique. Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec. 312 p.
- Boivin, C. et D. Deschênes. 2011. Stratégies d'irrigation dans la fraise à jours neutres. Rapport final présenté au CDAQ (Projet #6348). 80 p.
- BPR. 2003. Analyse des questions d'approvisionnement en eau pour le secteur de l'agriculture. Programme national d'approvisionnement en eau. Province de Québec. Rapport final. 26 mars 2003. 68 p.
- BPR. 2008. Étude technico-économique de solutions visant l'approvisionnement en eau des cultures horticoles à l'Île d'Orléans. Conseil pour le développement de l'agriculture du Québec (CDAQ), projet 5076. Programme d'approvisionnement en eau Canada-Québec. Présenté par le Syndicat de l'UPA de l'Île d'Orléans, Février 2008. 79 p.
- BPR. 2009. Étude pilote de la récupération optimale des débits de crue des cours d'eau pour l'irrigation des cultures horticoles dans un contexte d'approvisionnement multi-utilisateurs à l'Île d'Orléans. Conseil pour le développement de l'agriculture du Québec (CDAQ), projet R99-08-02. Programme d'approvisionnement en eau Canada-Québec. Présenté par le Réseau de lutte intégrée Orléans, Mars 2009. 49 p.
- Côté, C. 2017. Qualité de l'eau du fleuve et traitement requis. Atelier sur l'eau d'irrigation. Québec. 12 décembre 2017.
- Deschênes, P. et C. Boivin. 2016. Validation et optimisation d'une méthode permettant de prévoir les rendements en fruits dans un champ de fraisiers à jours neutres. Rapport de recherche présenté à l'Association des producteurs de fraises et framboises du Québec. IRDA. 49 p.
- Gee, G.W. et J.W. Bauder, J.W. 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.
- Généreux, M. 2017. Efficacité de la chaîne de traitement. Atelier sur l'eau d'irrigation. Québec. 12 décembre 2017.
- La presse 2018. <http://www.lapresse.ca/debats/chroniques/francis-vailles/201801/28/01-5151743-de-bonnes-fraises-ou-un-bon-salaire-minimum.php>
- Marceau, J., D. Bergeron et J. Leblanc. 2013. Installation d'un ouvrage de prélèvement en rivière à débit limité et variable pour la production horticole. Programme d'appui pour un secteur agroalimentaire innovateur. 35 p.
- MRC de l'Île d'Orléans. 2015. Plan de développement de la zone agricole. 75 p.
- Statistiques Canada. 2016. Site consulté en décembre 2017 (<http://www5.statcan.gc.ca/cansim/a47>)
- Tran, T.S., M. Giroux, et A. N'Dayegamiye. 1992. Utilisation rationnelle des fumures azotées minérales : aspects agronomiques et environnementaux. Agrosol 5 (2):18-25.