

Application et validation d'une stratégie d'irrigation dans la culture du bleuet nain

Rapport final
(PADAAR #1516-4073-046QC)

Rapport présenté à :

Direction régionale du Saguenay-Lac-Saint-Jean
du ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de
l'Alimentation du Québec (MAPAQ)



Rédigé par :

Carl Boivin – IRDA
Jérémie Vallée – IRDA
Pierre-Olivier Martel – DRSLSJ MAPAQ
Daniel Bergeron – DRCN MAPAQ

Mars 2016

L'IRDA a été constituée 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 du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs (MDDEFP) et le ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche, de la Science et de la Technologie (MESRST).



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.

Pour en savoir plus

www.irda.qc.ca

Ce projet a été réalisé en vertu du programme d'appui au développement de l'agriculture et de l'agroalimentaire en région (PADAAR) et il a bénéficié d'une aide financière du MAPAQ.



Équipe de réalisation du projet

IRDA

Carl Boivin, agr., M.Sc.
Jérémy Vallée, agr.
Paul Deschênes, agr., M.Sc.
Stéphane Nadon, t.a.
Émilie Larochelle, biologiste, M.Sc.
Francis Dufour (étudiant d'été)
Pierre-Marc Dionne (étudiant d'été)

MAPAQ

Direction régionale du Saguenay-Lac-Saint-Jean

Pierre-Olivier Martel, agr.
Andrée Tremblay, t.a.

Direction régionale de la Capitale-Nationale

Daniel Bergeron, agr., M.Sc.

Entreprises agricoles

Ferme Forestière Paul Grenon & Fils inc.
Bleuetière des Blanc inc.

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

Carl Boivin
IRDA
2700, rue Einstein
Québec, (Québec) G1P 3W8

Téléphone : 418 643-2380, poste 430

Télécopie : 418 644-6855

carl.boivin@irda.qc.ca

Le rapport peut être cité comme suit :

Boivin, C., J. Vallée, P.-O. Martel et D. Bergeron. 2016. Application et validation d'une stratégie d'irrigation dans la culture du bleuet nain. Rapport final remis au MAPAQ. IRDA. 31 p.

Table des matières

Table des matières.....	iv
Liste des figures	v
Liste des tableaux.....	vi
Résumé.....	1
1 Introduction.....	2
2 Objectif général.....	2
2.1 Objectifs spécifiques.....	2
3 Calendrier des réalisations	3
4 Matériel et méthodes.....	4
4.1 Sites expérimentaux.....	4
4.2 Caractérisation des propriétés physiques du sol	4
4.3 Conditions météorologiques et évapotranspiration potentielle	5
4.4 Température de l'air dans le couvert végétal.....	5
4.5 Suivi du statut hydrique du sol	6
4.5.1 Duo sondes TDR et tensiomètres	6
4.5.2 Tensiomètres	6
4.6 Système d'irrigation et dimension des unités expérimentales.....	6
4.7 Analyse foliaire.....	8
4.8 Dénombrement des bourgeons à fruits	8
4.9 Traitements	8
4.10 Dispositifs expérimentaux	9
5 Résultats et analyses	13
5.1 Déterminer les seuils d'intervention avec l'irrigation	13
5.1.1 Site Falardeau.....	13
5.1.2 Site Ascension.....	14
5.2 Conditions météorologiques.....	16
5.2.1 Site Falardeau.....	16
5.2.2 Site Ascension.....	18
5.3 Évolution du statut hydrique du sol.....	19
5.3.1 Nombre d'épisodes d'irrigations.....	19
5.3.2 Évolution du statut hydrique du sol - Site Falardeau	20
5.3.3 Évolution du statut hydrique du sol - Ascension.....	21
5.3.4 Régie « réelle » d'irrigation 2015	22
5.4 Analyses foliaires et dénombrement des bourgeons à fruits	23
5.4.1 Détermination de la durée des épisodes d'irrigation.....	24
5.5 Besoin en eau.....	25
5.5.1 Évapotranspiration de la culture – Sondes TDR.....	25
5.5.2 Coefficient cultural (Kc)	26
6 Conclusion	27
Références bibliographiques.....	28
Annexes.....	29

Liste des figures

Figure 1. Schéma de la distribution de l'uniformité d'application en eau du gicleur à 12 psi (hauteur d'eau en mm/20 minutes).	7
Figure 2. Dispositif expérimental – Site Ascension.....	10
Figure 3. Dispositif expérimental – Site Falardeau.	11
Figure 4. Température de l'air (°C), à 1,5 m du sol, du 2 juin au 10 octobre 2015 – Site Falardeau.....	16
Figure 5. Humidité relative de l'air (%), à 1,5 m du sol, du 2 juin au 10 octobre 2015 – Site Falardeau.	16
Figure 6. Pluviométrie (mm) et évapotranspiration potentielle (ET _p), du 2 juin au 10 octobre 2015 – Site Falardeau.....	17
Figure 7. Température minimale de l'air (°C), à 12 cm du sol, du 3 juin au 10 octobre 2015 – Site Falardeau.....	17
Figure 8. Température minimale de l'air (°C), à 30 cm du sol, du 3 juin au 10 octobre 2015 – Site Falardeau.....	17
Figure 9. Température de l'air (°C), à 1,5 m du sol, du 2 juin au 10 octobre 2015 – Site Ascension.....	18
Figure 10. Humidité relative de l'air (%), à 1,5 m du sol, du 2 juin au 10 octobre 2015 – Site Ascension.	18
Figure 11. Pluviométrie (mm) et évapotranspiration potentielle (ET _p , mm), du 2 juin au 10 octobre 2015 – Site Ascension.	19
Figure 12. Pluviométrie (mm) et évolution du statut hydrique du sol (kPa), parcelles non irriguées – Site Falardeau.....	20
Figure 13. Pluviométrie (mm) et évolution du statut hydrique du sol (kPa), parcelles irriguées – Site Falardeau.....	20
Figure 14. Pluviométrie (mm) et évolution du statut hydrique du sol (kPa), parcelles non irriguées - Site Ascension.....	21
Figure 15. Chronique de la teneur en eau volumique (cm ³ eau/cm ³ sol), du potentiel matriciel (kPa) et des précipitations (mm), du 2 juin au 6 octobre 2015, site Falardeau.	22
Figure 16. Chronique de la teneur en eau volumique (cm ³ eau/cm ³ sol), du potentiel matriciel (kPa) et des précipitations (mm), du 2 juin au 6 octobre 2015, site Ascension.	22
Figure 17. Évapotranspiration de la culture (ET _c) quotidienne (mm) au site Falardeau – Sondes TDR..	25
Figure 18. Évapotranspiration de la culture (ET _c) quotidienne (mm) au site Ascension – Sondes TDR.	25
Figure 19. Relation entre ET _p (Station météo) et l'ET _c (Sonde TDR) – Site Falardeau.	26
Figure 20. Relation entre ET _p (Station météo) et l'ET _c (Sonde TDR) – Site Ascension.....	26
Figure 22. Essais des gicleurs lors de l'installation 3 juin – Site Ascension.....	29
Figure 23. Sonde température de l'air au champ en production de fruits - Site Falardeau le 19 juin 2015.	30
Figure 24. Station météorologique - Site Falardeau le 3 juin 2015.	31

Liste des tableaux

Tableau 1. Sommaire des activités réalisées.....	3
Tableau 2. Hauteur d'eau obtenue après 20 minutes de fonctionnement du gicleur.....	6
Tableau 3. Seuils de déclenchement d'un épisode d'irrigation selon la régie et le site.....	8
Tableau 4. Potentiel du dispositif expérimental « élargi ».....	12
Tableau 5. Caractérisation du sol (pH, M.O. et texture) – Site Falardeau.....	13
Tableau 6. Résultat de la courbe de désorption en eau du sol – Échantillon #18.....	14
Tableau 7. Valeur en kPa et hauteur d'eau (mm) selon le seuil identifié pour déclencher l'irrigation. ...	14
Tableau 8. Caractérisation du sol (pH, M.O. et texture) – Site Ascension.....	14
Tableau 9. Résultat de la courbe de désorption en eau du sol – Échantillon #13.....	15
Tableau 10. Valeur en kPa et hauteur d'eau (mm) selon le seuil identifié pour déclencher l'irrigation. .	15
Tableau 11. Nombre d'épisodes d'irrigation selon le site et selon la régie.....	19
Tableau 12. Concentration foliaire en éléments majeurs (%) et mineurs (ppm) selon le site et la régie d'irrigation.....	23
Tableau 13. Nombre moyen de bourgeons floraux par tige selon le site et la régie d'irrigation.....	23
Tableau 14. Durée d'un épisode d'irrigation selon la régie d'irrigation.....	24

Résumé

Environ 83 % des superficies aménagées en bleuets nains cultivés au Québec sont situées au Saguenay-Lac-Saint-Jean. Ce secteur subit d'importantes fluctuations de production qui ne sont pas étrangères aux dommages causés par le gel des fleurs et les étés propices aux stress hydriques. Irriguer contre le gel ou pour éviter un stress hydrique à la culture pourraient s'avérer des solutions intéressantes pour stabiliser les rendements, voire les augmenter. La superficie à couvrir est considérable tout comme les volumes d'eau en jeu. Actuellement, les superficies irriguées sont marginales, mais en augmentation. Une régie raisonnée de l'irrigation est indispensable pour atteindre les objectifs de productivité et pour limiter les impacts négatifs pour l'environnement. Réalisé en année de végétation dans deux bleuetières situées à Saint-David-de-Falardeau et à l'Ascension-de-Notre-Seigneur, ce projet visait à outiller le secteur et à favoriser l'adoption d'une régie raisonnée de l'irrigation. Les conditions de pluviométrie qui ont eu cours à la saison 2015 n'ont pas permis de comparer les différents seuils d'intervention avec l'irrigation qui ont été à l'étude. Toutefois, il a été possible d'évaluer les besoins en eau de la culture à l'aide de sondes de type TDR. Globalement, les valeurs tendent à être plus élevées dans la première moitié de la saison et, à une exception près pour le site « Ascension », les valeurs maximales observées pour une journée sont inférieures à 2,5 mm. Enfin, un coefficient cultural moyen de 0,5 a été évalué pour le site « Falardeau » et pour le site « Ascension », un coefficient moyen de 0,45 a été évalué à l'aide de sondes de type TDR.

1 Introduction

La production commerciale de bleuets au Canada est un secteur économique très important qui est orienté vers l'exportation. Au Québec, il y a près de 28 000 ha aménagés en bleuets nains cultivés dont 83 % de ces superficies sont situées dans la région du Saguenay-Lac-Saint-Jean. La production annuelle de ce petit fruit peut atteindre 31 000 t et une valeur à la ferme de 43,2 M\$ (ISQ et MAPAQ, 2014).

Ce secteur subit d'importantes fluctuations de production en raison des dommages causés par le gel aux fleurs et les étés propices aux stress hydriques. Par exemple, en 2010, seulement 6300 t ont été produites au Québec pour une valeur à la ferme de 11,6 M\$. Cette variabilité de la production et de l'offre potentielle à l'exportation rend la situation difficile pour les entreprises et la mise en marché. Irriguer contre le gel ou pour éviter un stress hydrique pourraient s'avérer des solutions intéressantes pour stabiliser les rendements, voire les augmenter.

Actuellement, l'irrigation du bleuet nain demeure une pratique marginale, mais qui tend à prendre de l'essor. Le potentiel des superficies à couvrir est considérable tout comme les volumes d'eau en jeu. Une régie raisonnée de l'irrigation est alors indispensable pour atteindre les objectifs de productivité et pour limiter les impacts négatifs pour l'environnement. Pour y parvenir, plusieurs facteurs tous interreliés doivent être connus et considérés. Parmi ceux-ci, il y a le sol, la culture, les ressources, les objectifs poursuivis par l'irrigation et les outils d'aide à la décision.

2 Objectif général

Mise à l'essai de trois consignes de déclenchement de l'irrigation dans la culture du bleuet nain en année de végétation

2.1 Objectifs spécifiques

- Mise au point d'un protocole d'intervention avec l'irrigation afin de contrer le risque que la culture subisse un stress hydrique
- Déterminer trois seuils de déclenchement de l'irrigation basés sur la caractérisation des propriétés physiques du sol
- Mise à l'essai des seuils de déclenchement identifiés et mesure d'indicateurs de productivité

3 Calendrier des réalisations

Tableau 1. Sommaire des activités réalisées.

Activités	Dates de réalisation
Sélection des sites et prélèvement des échantillons de sol	7 mai 2015
Détermination des courbes de désorption eau du sol (en laboratoire)	juin 2015
Installation des stations météorologiques	3 et 4 juin 2015
Installation sondes TDR et tensiomètres Installation sondes température de l'air dans le couvert végétal (site Falardeau)	3 et 4 juin 2015
Installation des systèmes d'irrigation	2 et 3 juillet 2015
Prélèvements des échantillons de feuilles	7 août 2015
Désinstallation des systèmes d'irrigation et autres équipements de mesure	15 et 16 octobre 2015
Dénombrement des bourgeons floraux	4 novembre 2015
Rédaction du rapport	Mars 2016

4 Matériel et méthodes

4.1 Sites expérimentaux

Les deux dispositifs expérimentaux ont été mis en place chez deux entreprises spécialisées dans la production commerciale de bleuets nains. Ces dernières, soit La Ferme Forestière Paul Grenon & Fils inc. (48° 38.780'N, 71° 9.087'O) et la Bleuetière des Blanc (48° 43.799'N, 71° 39.801'O), sont respectivement situées à Saint-David-de-Falardeau et à l'Ascension-de-Notre-Seigneur dans la région du Saguenay-Lac-Saint-Jean. Le site « Falardeau » et celui « Ascension » sont respectivement en production depuis 2003 et 2008. Enfin, les deux sites étaient en année de végétation en 2015.

4.2 Caractérisation des propriétés physiques du sol

La caractérisation des sites expérimentaux a été effectuée sur l'horizon 0 à 15 cm (surface) et 15 à 30 cm (profondeur) au printemps 2015. Le « 0 » cm débute au sol minéral, ce qui exclut la couche où s'accumule la matière organique. 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, 1968). Le contenu en matière organique totale a été calculé selon le contenu en C_{tot} , déterminé au LECO, avec un facteur de conversion de 1,724.

En ce qui a trait à la courbe de désorption en eau du sol, des échantillons de sols non perturbés ont été prélevés au milieu de l'horizon 0-15 cm et celui 15-30 cm avec des cylindres de polychlorure de vinyle (PVC) qui mesurent 10 cm de diamètre et 10 cm de hauteur. Les échantillons ont ensuite été saturés en eau pendant 24 heures. Immédiatement après la saturation la masse de l'échantillon a été mesurée avec une balance précise au 0,01 g (Shimadzu, Tx4202L) pour déterminer la teneur en eau volumique à saturation. Un tensiomètre (Hortau, Tx-80 petite céramique) a été inséré au centre de l'échantillon (à 5 cm) pour mesurer le potentiel matriciel en continu. À intervalle régulier, c'est-à-dire d'une à trois fois par jour, la masse de l'échantillon a été prise à l'aide de la balance électronique (Shimadzu, Tx4202L). Cette procédure s'est poursuivie jusqu'à ce que le tensiomètre se décharge (environ 80 kPa). Le sol de l'échantillon a ensuite été séché à l'étuve à 105 °C, pendant 48 heures, pour déterminer le poids du sol sec. Finalement, la relation entre la teneur en eau volumique et le potentiel matriciel a été obtenue en associant les mesures réalisées.

4.3 Conditions météorologiques et évapotranspiration potentielle

Une station météorologique à chacun des sites a permis de mesurer la température et l'humidité relative (Rotronic, HC-S3), la radiation solaire (Apogee Instruments, SP-110), la vitesse et la direction du vent (R.M. Young, 05103) ainsi que la pluviométrie (Onset computer corporation, HOBO RG3-M). Les données ont été enregistrées avec un acquisateur de données CR206X (Campbell Scientific) relié à un modem cellulaire (Microhard Systems, IPn3Gb). Les données pouvaient ainsi être consultées à distance. Le calcul de l'évapotranspiration a été effectué à l'aide de la formule standardisée de Penman-Montheith (ASCE, 2005) (Équation 1).

$$ET_p = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{C_n}{T + 273} V_2(e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + C_d V_2)}$$

Équation 1. Équation de Penman-Montheith (ASCE, 2005)

Où

ET_p : évapotranspiration potentielle [mm jour⁻¹],

R_n : radiation solaire nette à la surface de la culture [MJ m⁻² jour⁻¹],

G : flux de chaleur au sol [MJ m⁻² jour⁻¹],

T : température moyenne journalière à une hauteur de 2 m [°C],

V_2 : vitesse du vent à une hauteur de 2m [m s⁻¹],

C_n : constante changeant selon la taille des cultures (900 petites; 1600 grandes)

C_d : constante changeant selon la taille des cultures

e_s : pression moyenne de vapeur saturée [kPa],

e_a : pression de vapeur actuelle [kPa],

$e_s - e_a$: déficit de pression de vapeur saturée [kPa],

Δ : pente de la pression de vapeur saturée à la température moyenne de l'air [kPa °C⁻¹],

γ : constante psychrométrique [kPa °C⁻¹].

4.4 Température de l'air dans le couvert végétal

Au site Falardeau, dans un champ en année production situé à proximité de celui en végétation, deux sondes de températures (Campbell Scientific, 109-L) ont mesuré, en continu, la température de l'air à 12 et 30 cm de la surface du sol (Figure 22). Comme il s'agit d'un suivi essentiellement dirigé vers la mesure des températures minimales, les sondes n'étaient pas protégées des rayons du soleil avec un écran prévu à cette fin. Ces sondes étaient reliées à un acquisateur de données CR200X (Campbell Scientific).

4.5 Suivi du statut hydrique du sol

4.5.1 Duo sondes TDR et tensiomètres

Une sonde TDR (Campbell Scientific, CS625) et un tensiomètre (Hortau, Tx-80), qui mesurent en « parallèle » et en continu l'évolution du statut hydrique du sol, ont été utilisés aux deux sites. Ces outils étaient reliés à un acquisateur de données (CR200X). La sonde TDR, d'une longueur de 30 cm, a été insérée en diagonale dans le sol afin de couvrir les 20 premiers cm de sol minéral. Le tensiomètre a été installé à 18 cm de profondeur. Cette profondeur correspond à l'enracinement maximal de la culture.

4.5.2 Tensiomètres

Au site Falardeau, des tensiomètres (Tx-80, Hortau) ont été installés au champ (18 cm de profondeur). Ces derniers ont communiqué via des ondes radio avec un ordinateur qui a été connecté au réseau Internet. Il a alors été possible de suivre l'évolution du statut hydrique du sol à distance.

Le même modèle de tensiomètre a été utilisé au site Ascension, mais l'absence d'électricité à proximité du site n'a pas permis l'utilisation d'un ordinateur connecté au réseau Internet. Les tensiomètres ont été reliés à des acquisiteurs de données CR206X (Campbell Scientific) qui ont pu communiquer via des ondes radio avec l'acquisiteur de données de la station météorologique. L'acquisiteur de la station météo étant relié à un modem cellulaire, il a été possible de suivre à distance l'évolution du statut hydrique du sol.

4.6 Système d'irrigation et dimension des unités expérimentales

Le gicleur retenu pour les essais a été le Xcel-Wobbler® buse #12 rouge à angle moyen (Senninger Irrigation Inc.). Ce dernier a fait l'objet d'une évaluation en conditions contrôlées afin de valider les informations fournies par le fabricant. La couverture du gicleur (m²), le débit (m³/20 min) et la hauteur d'eau moyenne (mm/20 min) ont été mesurés à 4 pressions d'opération différentes (8, 10, 12 et 15 psi) et les résultats sont présentés au Tableau 2.

Tableau 2. Portée, débit et hauteur d'eau appliquée après 20 minutes de fonctionnement du gicleur selon la pression d'opération.

Pression (psi)	Portée (aire m ²)	Débit (m ³ /20 min)	Hauteur d'eau moyenne (mm/20 min)
8	87	0,236	2,7
10	108	0,268	2,5
12	125*	0,282	2,3
15	133	0,312	2,3

*Diamètre de 13 m

L'uniformité d'application a aussi été évaluée à ces quatre pressions d'opération. Pour évaluer cette uniformité, 45 pluviomètres ont été répartis selon le schéma de la Figure 1 où « O » représente le gicleur et les chiffres, la hauteur d'eau mesurée par les 45 pluviomètres durant les 20 minutes de l'essai (par pression). Les résultats présentés à la Figure 1 ont été obtenus à 12 psi, car à la suite des essais, c'est cette pression d'opération qui a été retenue. Ainsi, le gicleur, qui fait office de centre de la parcelle, a une portée d'action de 13 m de diamètre et couvre une superficie de 125 m².

La zone où l'uniformité de l'irrigation a été jugée la plus grande débute au 2^e mètre à partir du gicleur, et ce, jusqu'au 4^e mètre. Il y a donc un « beigne » d'une largeur de deux mètres autour du gicleur qui a été considéré comme la zone où effectuer l'échantillonnage des feuilles et le dénombrement des bourgeons floraux. Maintenant, comme ce beigne peut être affecté par la direction et la vitesse du vent lors d'un épisode d'irrigation, il a été subdivisé en quatre zones couvrant chacune 90°, soit 25 % du cercle. Ces dernières sont orientées vers chacun des points cardinaux (Sud, Ouest, Nord et Est).

Par ailleurs, chacun des gicleurs était muni d'un régulateur de pression à 12 psi et était contrôlé individuellement via une valve manuelle.

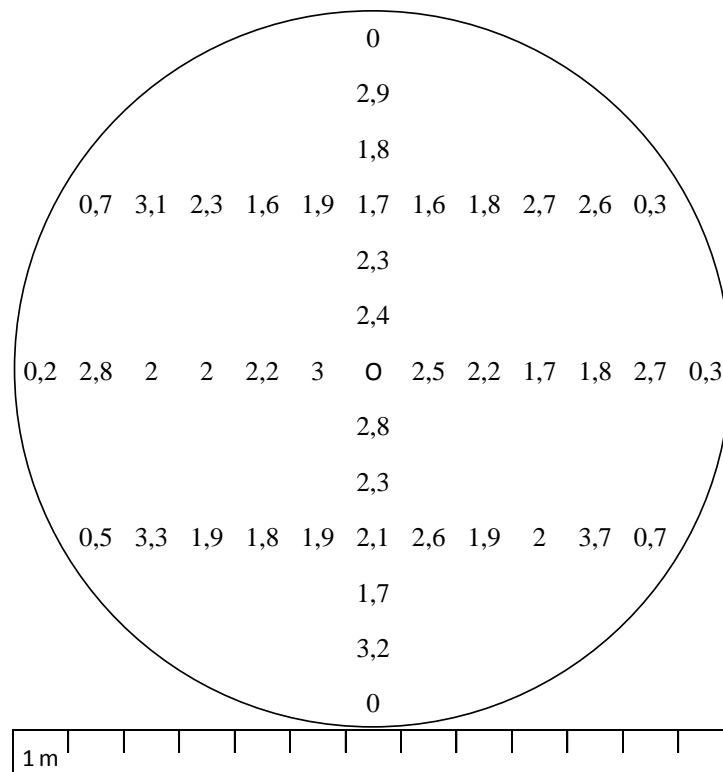


Figure 1. Schéma de la distribution de l'uniformité d'application en eau du gicleur à 12 psi (hauteur d'eau en mm/20 minutes).

4.7 Analyse foliaire

L'échantillonnage des feuilles a été réalisé au moment de l'arrêt de croissance de la pousse végétative. Dans chacune des parcelles, 15 tiges dont l'extrémité présente le point noir, ont été sélectionnées aléatoirement dans le « beigne ». Les feuilles ont été dégrafées de la tige, du bas vers le haut. Les feuilles ont ensuite été emballées dans un sac de plastique et le tout a été conservé dans une glacière.

Une fois au laboratoire de l'IRDA, les feuilles ont été séchées et broyées à 100 mesh pour former un échantillon composite. Le N total, le P, K, Ca, Mg et les éléments mineurs ont été digérés à l'acide sulfurique et sélénieux selon la méthode Kjeldahl (Isaac et Johnson, 1976). Le contenu des éléments a finalement été déterminé par spectrométrie d'émission au plasma. Le C_{tot} et le N_{tot} ont été déterminés au LECO.

4.8 Dénombrement des bourgeons à fruits

Pour chacune des unités expérimentales, les bourgeons floraux ont été dénombrés sur 10 tiges. Ces tiges ont été sélectionnées à raison de 10 par zone identifiée au point 4.6 à l'aide d'un cadre lancé de 25,4 cm de côté (645,2 cm²).

4.9 Traitements

Les valeurs ayant trait aux consignes pour le déclenchement de l'irrigation sont présentées au Tableau 3 selon le site et la régie. Voir la section 5.1 pour savoir comment ces consignes ont été établies.

Tableau 3. Seuils de déclenchement d'un épisode d'irrigation selon la régie et le site.

Régies irrigation	Consignes (kPa)	
	Falardeau	Ascension
A	15	10
B	25	18
C	35	35
T	Non irrigué	Non irrigué

4.10 Dispositifs expérimentaux

Le dispositif expérimental qui a été utilisé en 2015 pour chacun des sites est un plan complètement aléatoire. Au site Ascension, chacune des trois régies d'irrigation (A, B et C) et le témoin (T) ont été répétés 8 fois, pour un total de 64 unités expérimentales (Figure 2). Au site Falardeau, des contraintes conséquentes aux dimensions du champ ont réduit le nombre d'unités à 54 (Figure 3).

Ces dispositifs ont été élaborés afin que des essais puissent se poursuivre à l'année de production de fruits et qu'il soit possible d'y ajouter un volet où l'irrigation pourra être utilisée ou non contre le gel des fleurs. À ce moment, le nombre de répétitions sera de quatre, pour le site Ascension et ce nombre variera entre trois et quatre pour le site Falardeau.

Le dispositif « élargi » est composé de 16 combinaisons de traitements qui sont présentées au Tableau 4. Les combinaisons 1 à 4 et 9 à 12 peuvent recevoir des apports en eau par l'irrigation en année de production de fruits seulement, alors que les combinaisons 5 à 8 et 13 à 16 peuvent recevoir des apports en eau lors de l'année en végétation et de production. De plus, les combinaisons 1 à 8 sont protégées du gel des fleurs alors que celles de 9 à 16 ne le sont pas.

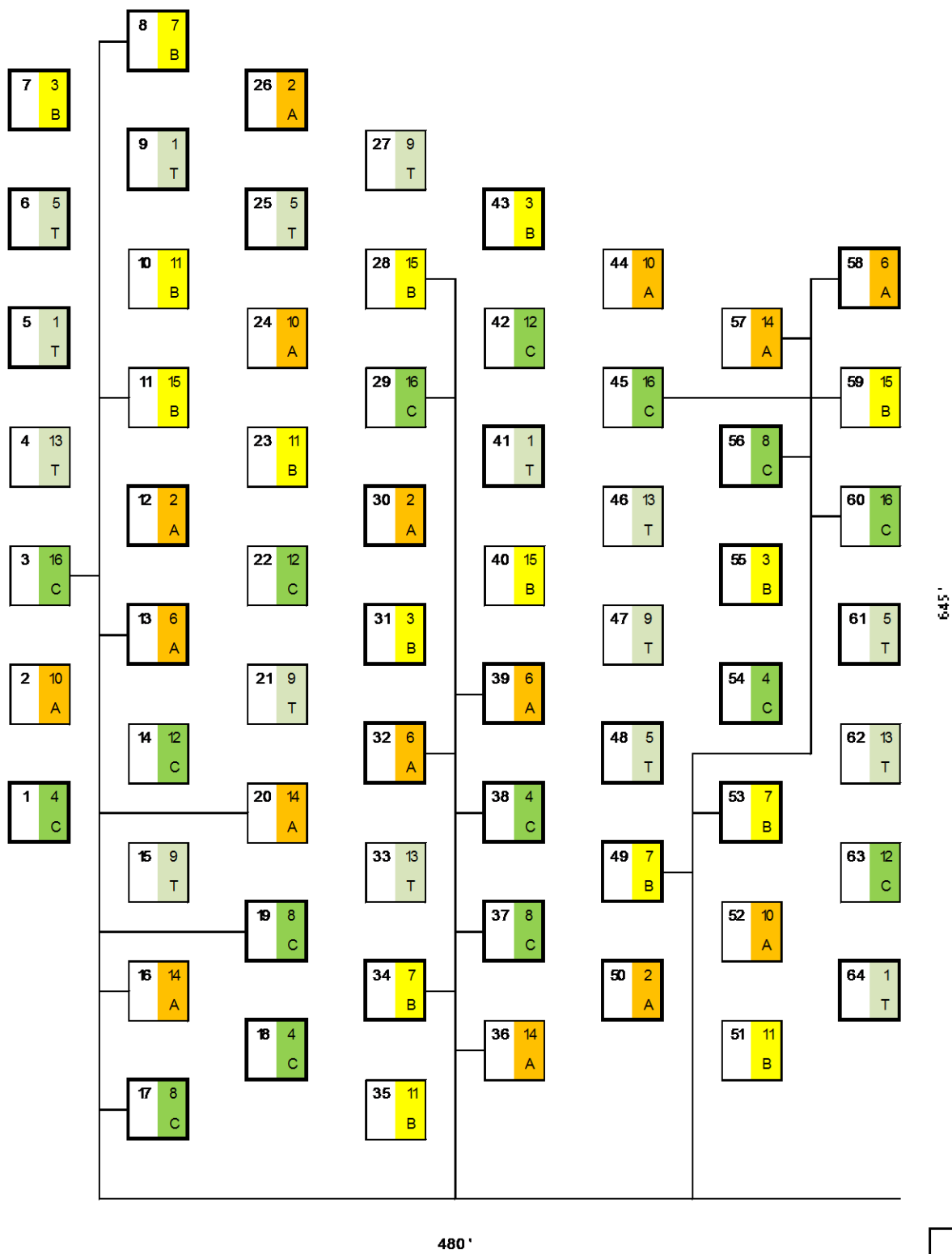


Figure 2. Dispositif expérimental – Site Ascension.

Application et validation d'une stratégie d'irrigation dans la culture du bleuet nain (PADAAR # 1516-4073-046QC)

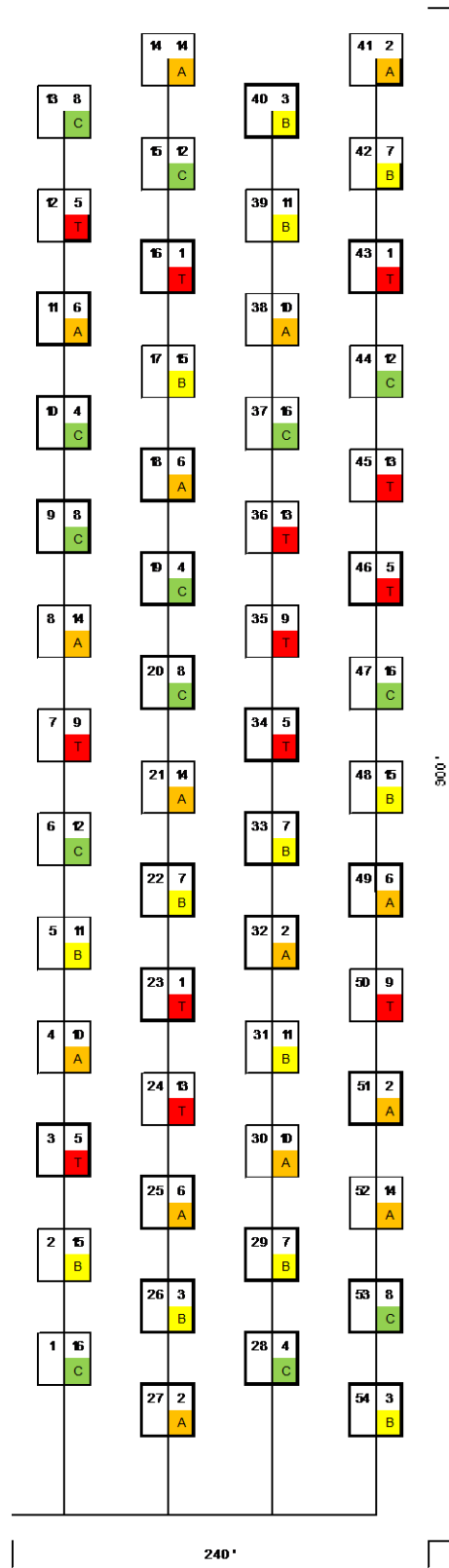


Figure 3. Dispositif expérimental – Site Falardeau.

Application et validation d'une stratégie d'irrigation dans la culture du bleuët nain (PADAAR # 1516-4073-046QC)

Tableau 4. Potentiel du dispositif expérimental « élargi ».

Période avec intervention possible avec l'irrigation	Protection des fleurs contre le gel	Régie d'irrigation	No identification
Production	Protégé	T	1
		A	2
		B	3
		C	4
Végétation et Production		T	5*
		A	6*
		B	7*
Production		Non protégé	C
	T		9
	A		10
	B		11
Végétation et Production	C		12
	T		13*
	A		14*
Production	B		15*
	C	16*	

* Traitements à l'étude en 2015

5 Résultats et analyses

5.1 Déterminer les seuils d'intervention avec l'irrigation

5.1.1 Site Falardeau

Le pH, le taux de matière organique (M.O.) et la texture du sol pour le site Falardeau sont présentés au Tableau 5 selon l'échantillon.

Tableau 5. Caractérisation du sol (pH, M.O. et texture) – Site Falardeau.

Échantillons	pH eau	pH SMP	M.O. (%)	Sable (%)	Limon (%)	Argile (%)	Texture
Surface (#18)	5,4	5,9	9,8	74	17	9	Loam sableux
Profond (#14)	6,0	6,3	6,4	73	19	8	Loam sableux

Les résultats de la courbe de désorption en eau du sol réalisée sur l'échantillon #18 sont présentés au Tableau 6. Il est alors possible d'associer une valeur de teneur en eau volumique à une valeur de potentiel matriciel (kPa) et enfin, à la hauteur d'eau en mm y correspondant, pour une profondeur de sol de 20 cm. La valeur en kPa a été utilisée comme consigne pour déclencher l'épisode d'irrigation, car il s'agit de l'unité de mesure utilisée avec le tensiomètre.

Les consignes (A, B et C) ont été déterminées à partir de la hauteur d'eau contenue dans le sol qui correspond à la réserve facilement utilisable en eau (RFU) « plateau ». La RFU plateau représente la hauteur d'eau contenue dans le sol entre la capacité au champ *in situ* (CC) et lorsque la pente de la courbe de désorption est presque nulle. Pour le site Falardeau, la CC a été déterminée à 4,3 kPa. À cette valeur, la teneur en eau volumique du sol est de 0,469 cm³ d'eau par cm³ de sol et les 20 premiers cm de sol contiennent alors 94 mm d'eau. La RFU plateau est estimée à environ 30 mm. Théoriquement, le risque que la plante subisse un stress hydrique est faible dans cet intervalle. Toutefois, des essais comme celui réalisé dans ce projet sont nécessaires pour valider la théorie et identifier un seuil d'intervention.

Pour y parvenir, ce 30 mm a été découpé en 3 intervalles qui correspondent aux 3 consignes. Ainsi, la consigne A intervient quand 13 mm d'eau ont été soustraits aux 94 mm (CC), alors que l'irrigation est déclenchée lorsque 23 mm (consigne B) et 29 mm (consigne C) sont soustraits à ce 94 mm (Tableau 7).

Tableau 6. Résultat de la courbe de désorption en eau du sol – Échantillon #18.

Teneur en eau volumique (cm ³ eau/cm ³ sol)	Potentiel matriciel (kPa)	Hauteur eau sol (mm/20 cm)	Seuils d'intervention
0,571	0,6	114	
0,553	1,2	111	
0,542	1,3	108	
0,525	1,6	105	
0,519	1,8	104	
0,499	2,4	100	
0,479	3,3	96	
0,469	4,3	94	CC
0,460	5,2	92	
0,409	11,2	82	
0,404	14,6	81	A
0,380	18,8	76	
0,379	19,9	76	
0,361	23,6	72	
0,361	24,9	71	B
0,351	26,1	70	
0,328	30,5	66	
0,323	34,6	65	C
0,317	38,6	63	

Tableau 7. Valeur en kPa et hauteur d'eau (mm) selon le seuil identifié pour déclencher l'irrigation.

Régies irrigation	Valeurs consigne (kPa)	Hauteur d'eau (CC-Consigne)
A	15	13 mm (94 - 81)
B	25	23 mm (94 - 71)
C	35	29 mm (94 - 65)

5.1.2 Site Ascension

Le pH, le taux de matière organique (M.O.) et la texture du sol pour le site Ascension sont présentés au Tableau 8 selon l'échantillon.

Tableau 8. Caractérisation du sol (pH, M.O. et texture) – Site Ascension.

Échantillons	pH eau	pH SMP	M.O. (%)	Sable (%)	Limon (%)	Argile (%)	Texture
Surface (#15)	5,4	6,4	3,7	77	19	4	Sable loameux
Profond (#13)	5,6	6,8	1,5	86	10	4	Sable loameux
Surface (#17)	5,1	5,4	10,3	70	20	10	Loam sableux
Profond (#24)	5,4	6,4	3,1	77	15	8	Loam sableux

Pour le site Ascension, la CC a été déterminée à 4,7 kPa. À cette valeur, la teneur en eau volumique du sol est de 0,259 cm³ d'eau par cm³ de sol et les 20 premiers cm de sol contiennent alors 52 mm d'eau. La RFU plateau est estimée à environ 30 mm. Ce 30 mm a été découpé en 3 intervalles qui correspondent aux 3 consignes. Ainsi, la consigne A intervient quand 14 mm d'eau ont été soustraits aux 52 mm (CC), alors que l'irrigation est déclenchée lorsque 20 mm (consigne B) et 27 mm (consigne C) sont soustraits à ce 52 mm (Tableau 10).

Tableau 9. Résultat de la courbe de désorption en eau du sol – Échantillon #13.

Teneur en eau volumique (cm ³ eau/cm ³ sol)	Potentiel matriciel (kPa)	Hauteur eau sol (mm/20 cm)	Seuils d'intervention
0,422	0,7	84	
0,409	1,4	82	
0,406	1,4	81	
0,392	2,0	78	
0,380	2,2	76	
0,368	2,7	74	
0,347	3,1	69	
0,324	3,4	65	
0,280	4,1	56	
0,259	4,7	52	CC
0,238	5,4	48	
0,231	5,9	46	
0,216	7,3	43	
0,198	8,5	40	
0,192	9,9	38	A
0,186	11,2	37	
0,173	14,4	35	
0,159	17,5	32	B
0,144	23,1	29	
0,124	35,0	25	C
0,104	54,1	21	

Tableau 10. Valeur en kPa et hauteur d'eau (mm) selon le seuil identifié pour déclencher l'irrigation.

Régies irrigation	Valeurs consigne (kPa)	Hauteur d'eau (CC-Consigne)
A	10	14 mm (52 - 38)
B	18	20 mm (52 - 71)
C	35	27 mm (52 - 65)

5.2 Conditions météorologiques

5.2.1 Site Falardeau

L'évolution de la température et de l'humidité relative de l'air à 1,5 m du sol du 2 juin au 10 octobre 2015 est respectivement présentée aux Figure 4 et Figure 5 pour le site Falardeau. De plus, pour la même période, la pluviométrie et l'évapotranspiration potentielle (ET_p), à partir du 21 juillet, sont présentées à la Figure 6. Enfin, l'évolution de la température de l'air à 12 et 30 cm du sol est respectivement présentée à la Figure 7 et Figure 8, à partir du 3 juillet.

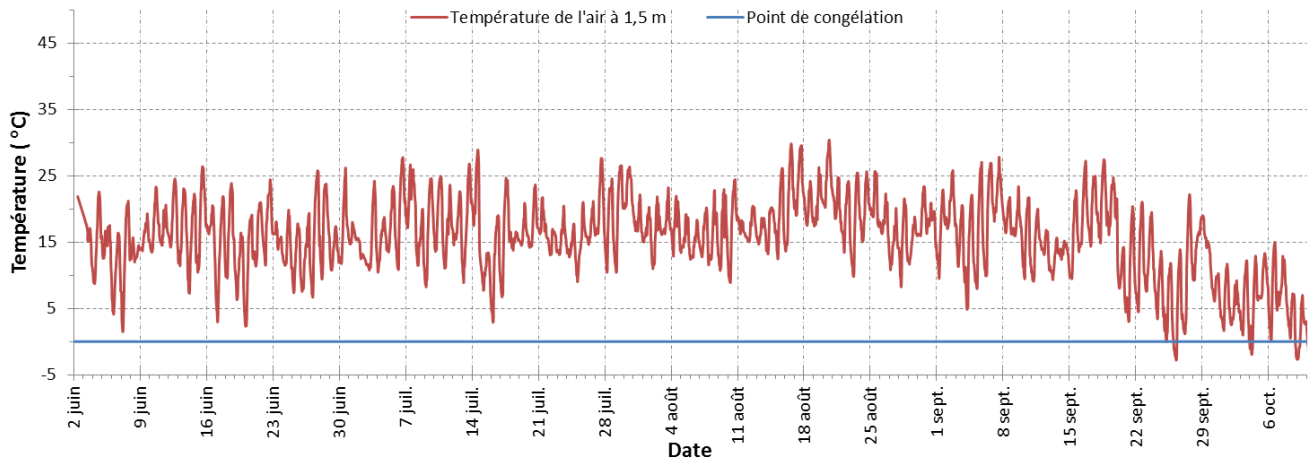


Figure 4. Température de l'air (°C), à 1,5 m du sol, du 2 juin au 10 octobre 2015 – Site Falardeau.

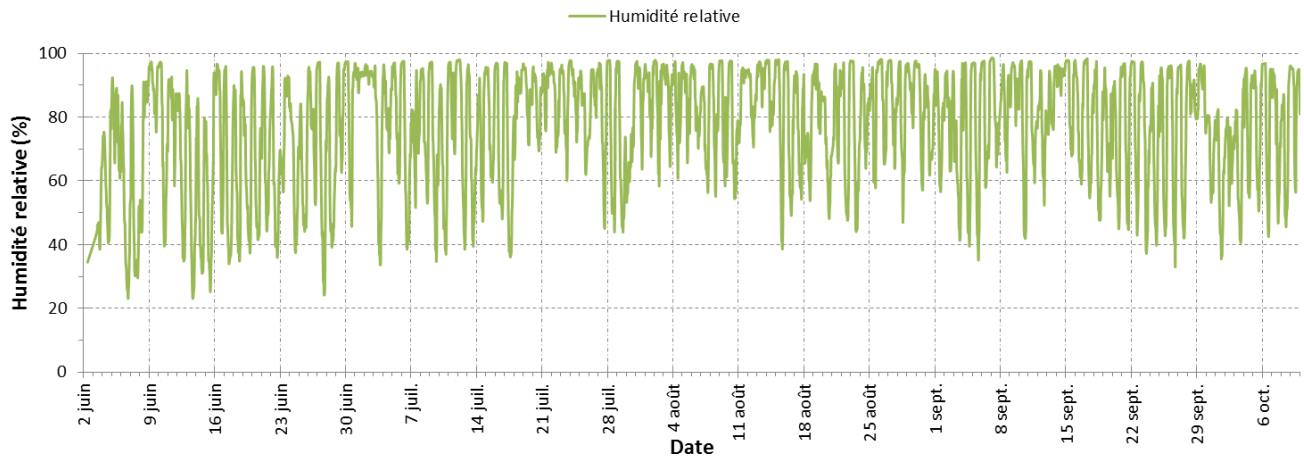


Figure 5. Humidité relative de l'air (%), à 1,5 m du sol, du 2 juin au 10 octobre 2015 – Site Falardeau.

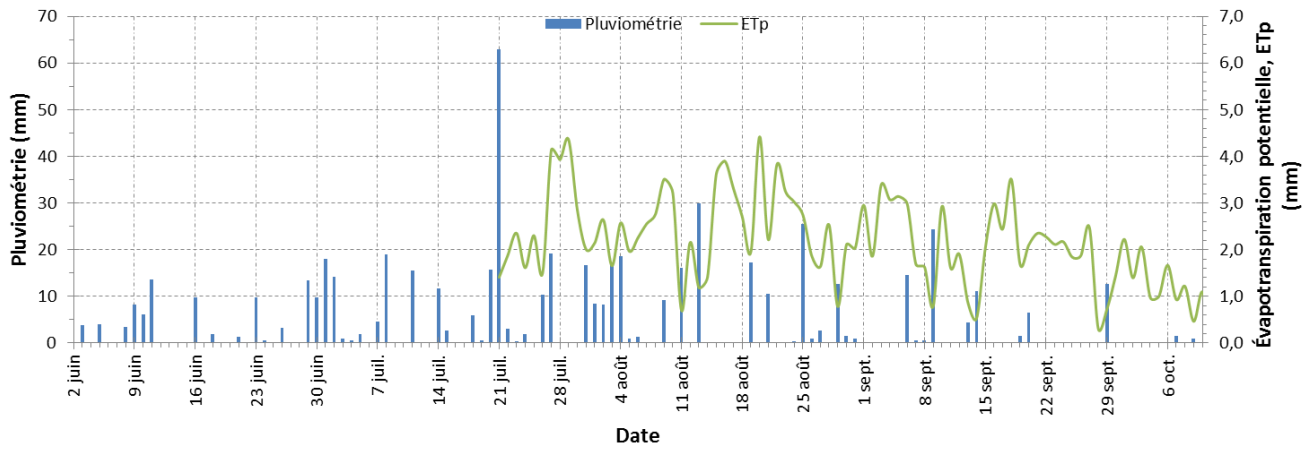


Figure 6. Pluviométrie (mm) et évapotranspiration potentielle (ET_p, mm), du 2 juin au 10 octobre 2015 – Site Falardeau.

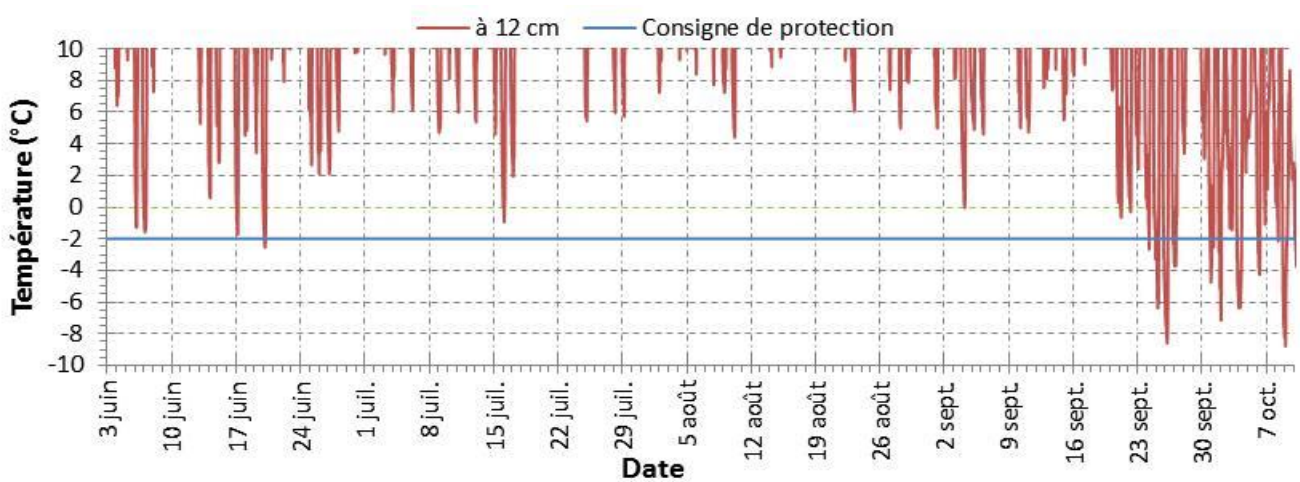


Figure 7. Température minimale de l'air (°C), à 12 cm du sol, du 3 juin au 10 octobre 2015 – Site Falardeau.

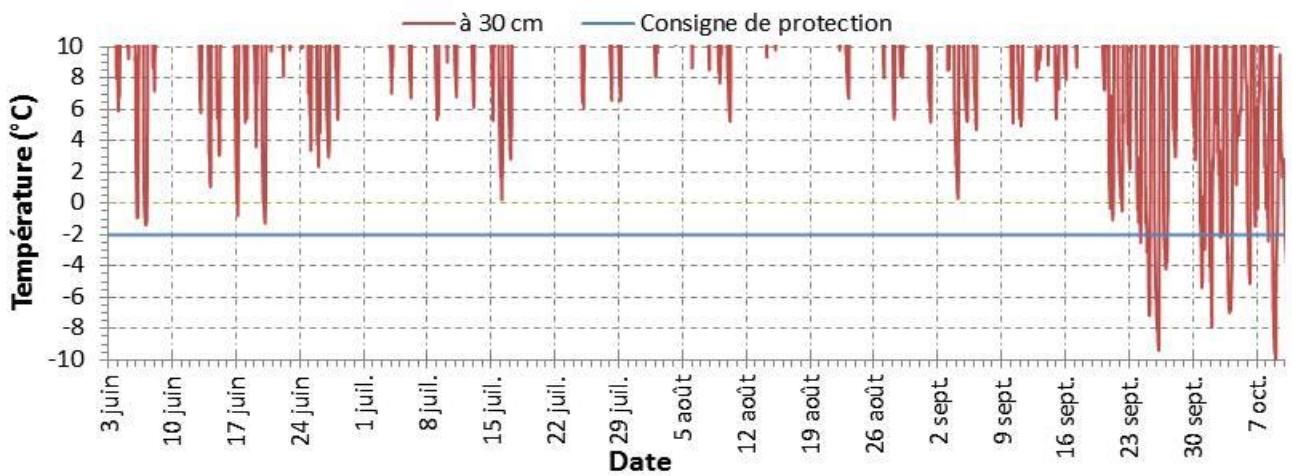


Figure 8. Température minimale de l'air (°C), à 30 cm du sol, du 3 juin au 10 octobre 2015 – Site Falardeau.

5.2.2 Site Ascension

L'évolution de la température et de l'humidité relative de l'air à 1,5 m du sol du 2 juin au 10 octobre 2015 est respectivement présentée aux Figure 9 et Figure 10 pour le site Ascension. De plus, pour la même période, la pluviométrie et l'ET_p (à partir du 17 juillet) sont présentés à la Figure 11.

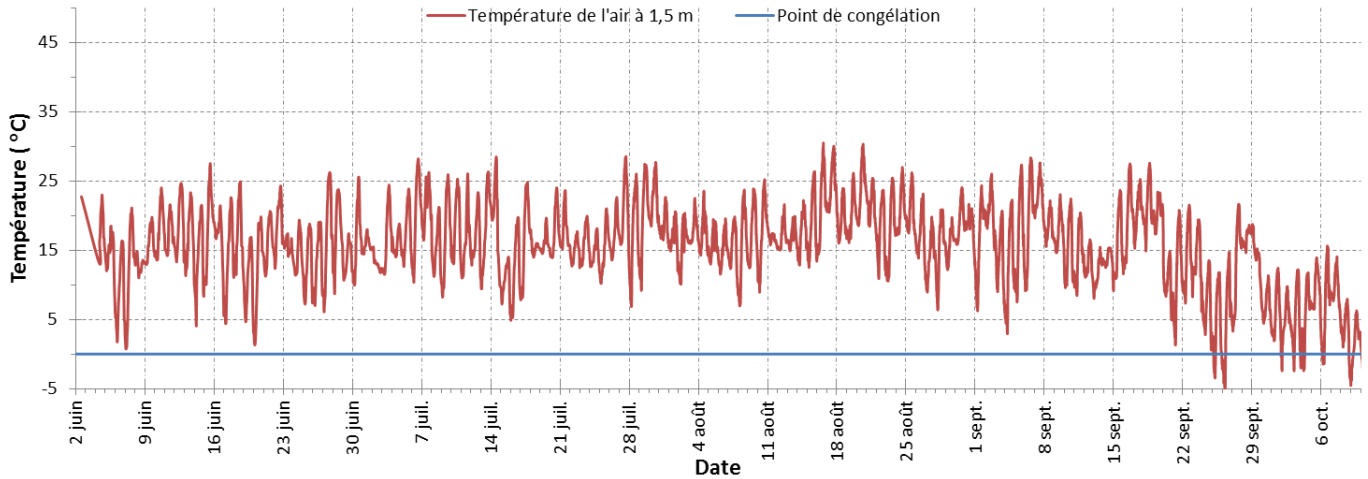


Figure 9. Température de l'air (°C), à 1,5 m du sol, du 2 juin au 10 octobre 2015 – Site Ascension.

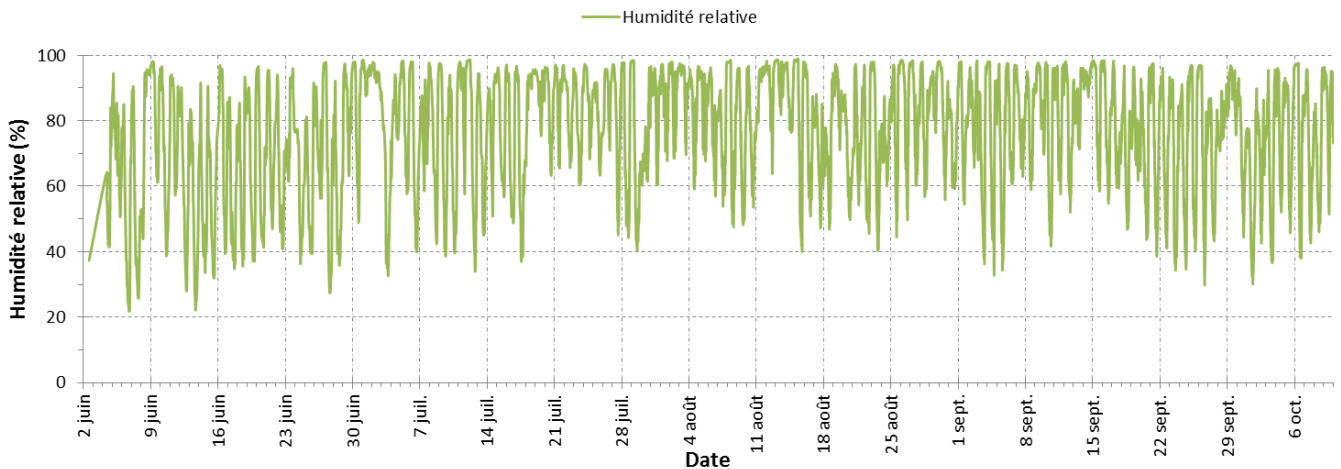


Figure 10. Humidité relative de l'air (%), à 1,5 m du sol, du 2 juin au 10 octobre 2015 – Site Ascension.

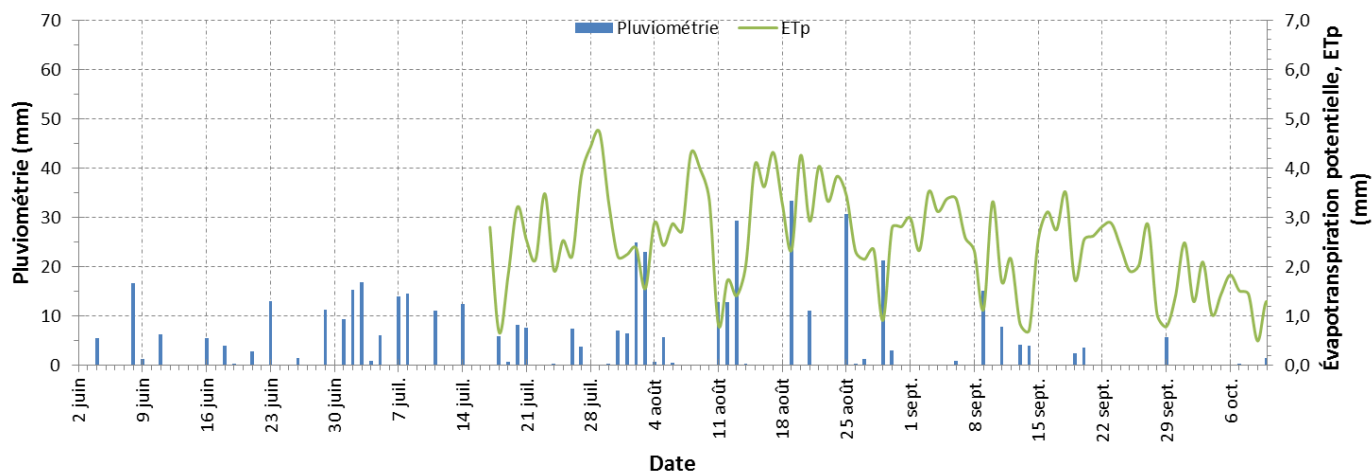


Figure 11. Pluviométrie (mm) et évapotranspiration potentielle (ET_p, mm), du 2 juin au 10 octobre 2015 – Site Ascension.

5.3 Évolution du statut hydrique du sol

5.3.1 Nombre d'épisodes d'irrigations

Un seul épisode d'irrigation a été déclenché pour chacun des sites. Ces épisodes ont respectivement été effectués les 18 août et le 23 septembre pour le site Falardeau et Ascension Tableau 11.

Tableau 11. Nombre d'épisodes d'irrigation selon le site et selon la région.

Régies irrigation	Épisodes d'irrigation	
	Falardeau	Ascension
A	18 août	23 septembre
B	-	-
C	-	-

5.3.2 Évolution du statut hydrique du sol - Site Falardeau

L'évolution du statut hydrique du sol (moyenne de 4 tensiomètres) est présentée à la Figure 12, pour les parcelles non irriguées et à la Figure 13 pour les parcelles irriguées du traitement A. L'épisode d'irrigation du 23 septembre est identifié avec un triangle vert à la Figure 13. Quoique la valeur de potentiel matriciel n'ait pas atteint le seuil de 15 kPa (Régie A), des contraintes de logistique empêchaient un retour sur le site dans les jours qui suivaient et l'atteinte de la consigne était anticipée. Les conditions météo étaient favorables et cette valeur a été atteinte dans les parcelles non irriguées par la suite (Figure 12).

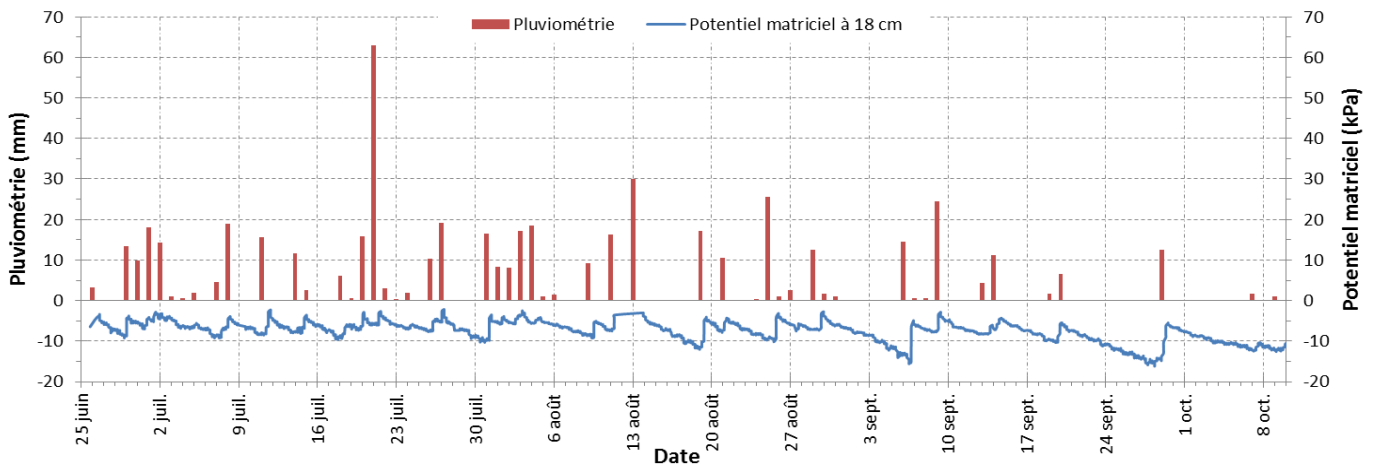


Figure 12. Pluviométrie (mm) et évolution du statut hydrique du sol (kPa), parcelles non irriguées – Site Falardeau.

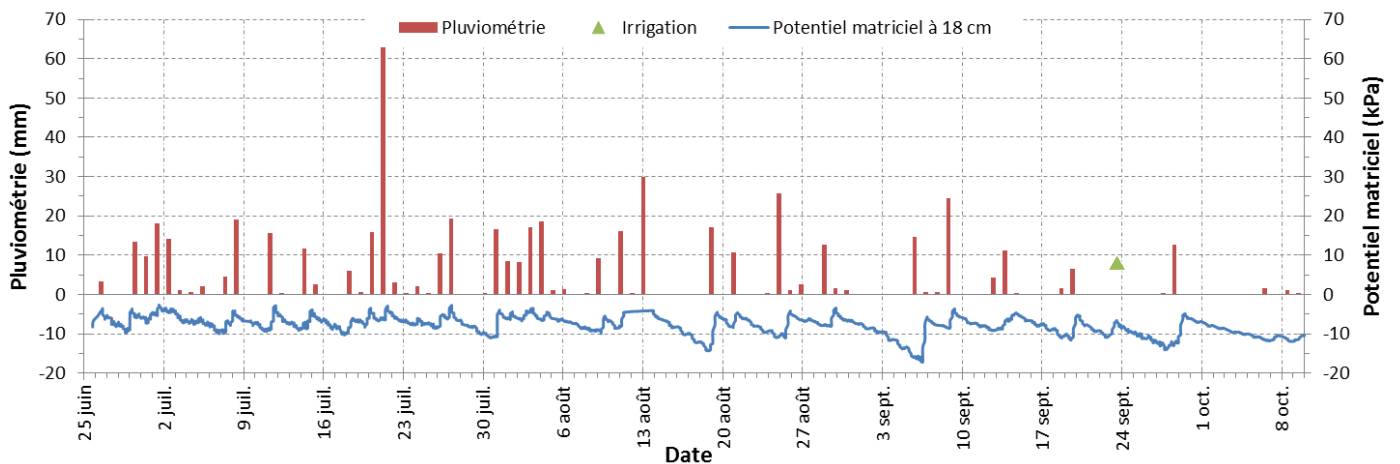


Figure 13. Pluviométrie (mm) et évolution du statut hydrique du sol (kPa), parcelles irriguées – Site Falardeau.

5.3.3 Évolution du statut hydrique du sol - Ascension

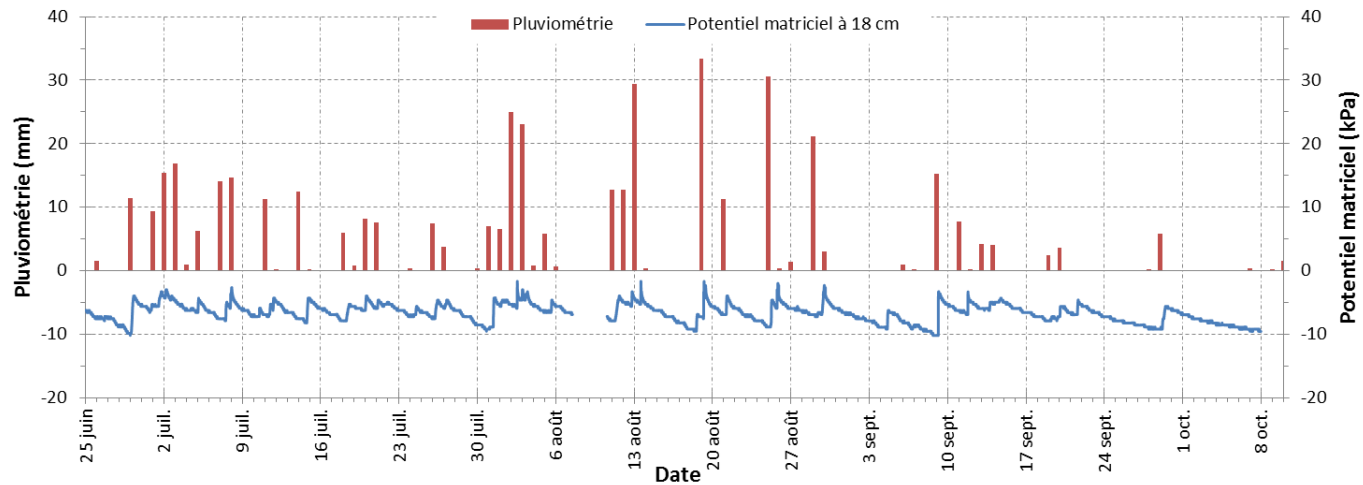


Figure 14. Pluviométrie (mm) et évolution du statut hydrique du sol (kPa), parcelles non irriguées - Site Ascension.

5.3.4 Régie « réelle » d'irrigation 2015

Un des objectifs du projet était de soumettre la culture à différentes conditions de statut hydrique connues et de mesurer l'impact sur les plants. À terme, les résultats de ces essais auraient permis de se prononcer sur la probabilité que la culture ait subi un stress hydrique dommageable. Toutefois, compte tenu des précipitations fréquentes, la culture a effectué la quasi-intégralité de son développement dans des conditions hydriques de sol entre la CC et la consigne A, soit des conditions de sol peu propices aux stress hydriques conséquents à un manque d'eau. Ce seuil (A) étant établi à 15 kPa pour le site Falardeau (Figure 15) et 10 kPa pour le site Ascension (Figure 16).

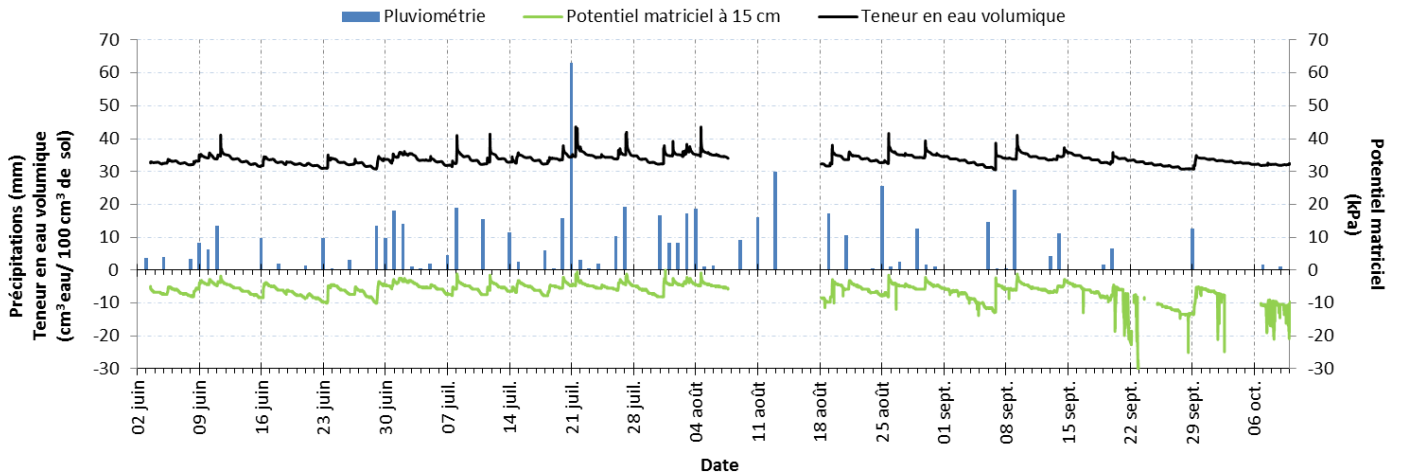


Figure 15. Chronique de la teneur en eau volumique ($\text{cm}^3 \text{ eau} / \text{cm}^3 \text{ sol}$), du potentiel matriciel (kPa) et des précipitations (mm), du 2 juin au 6 octobre 2015, site Falardeau.

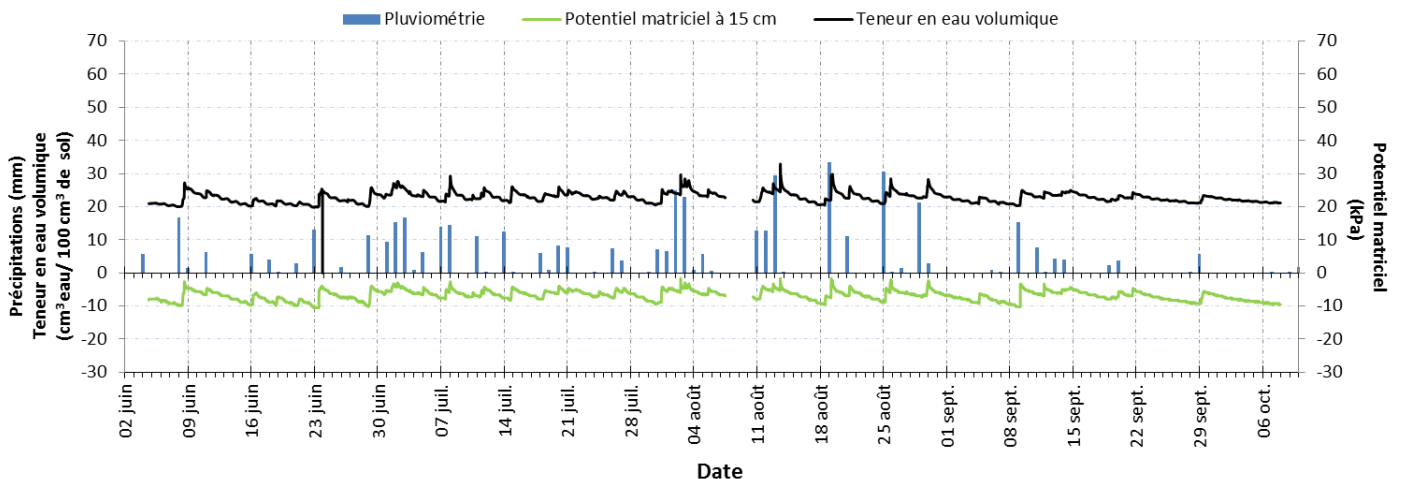


Figure 16. Chronique de la teneur en eau volumique ($\text{cm}^3 \text{ eau} / \text{cm}^3 \text{ sol}$), du potentiel matriciel (kPa) et des précipitations (mm), du 2 juin au 6 octobre 2015, site Ascension.

5.4 Analyses foliaires et dénombrement des bourgeons à fruits

La concentration en éléments majeurs et mineurs mesurée dans les feuilles est présentée au Tableau 12 selon le site et la régie d'irrigation.

Tableau 12. Concentration foliaire en éléments majeurs (%) et mineurs (ppm) selon le site et la régie d'irrigation.

Sites	Régies irrigation	Éléments majeurs (%)					Éléments mineurs (ppm)				
		N	P	K	Mg	Ca	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Falardeau	A	1,52	0,12	0,55	0,18	0,60	94,2	7,6	51,0	1103	19,2
	B	1,51	0,12	0,55	0,17	0,57	82,7	7,4	52,5	1120	18,7
	C	1,51	0,11	0,55	0,17	0,61	88,0	7,9	52,3	1071	19,4
	T	1,46	0,11	0,52	0,18	0,57	84,4	7,5	50,9	1157	18,1
Ascension	A	1,54	0,11	0,55	0,14	0,58	111,0	7,3	46,5	1023	20,7
	B	1,50	0,11	0,53	0,15	0,57	99,9	7,0	41,0	1106	20,2
	C	1,51	0,11	0,52	0,13	0,55	101,4	7,2	52,6	1112	19,9
	T	1,52	0,12	0,55	0,13	0,55	89,8	7,1	51,1	1095	20,9

Le nombre moyen de bourgeons floraux par tige est présenté au Tableau 13 selon le site et la régie d'irrigation.

Tableau 13. Nombre moyen de bourgeons floraux par tige selon le site et la régie d'irrigation

Régies irrigation	Sites	
	Ascension	Falardeau
A	4,0	4,4
B	3,7	4,6
C	4,0	4,6
T	3,8	4,1
Moyenne	3,9	4,4

5.4.1 Détermination de la durée des épisodes d'irrigation

La durée d'un épisode d'irrigation a été déterminée avec les essais dont les résultats sont présentés au Tableau 2Tableau 2.

Tableau 2 . Ainsi, en considérant une efficacité d'application de 100 %, 113 minutes sont nécessaires pour apporter les 13 mm d'eau qui ont été utilisés par la culture lorsque le tensiomètre atteint la consigne de 15 kPa (Régie A) pour le site Falardeau.

Tableau 14. Durée d'un épisode d'irrigation selon la régie d'irrigation.

Sites	Régies irrigation	Hauteur d'eau (CC-Consigne)	Durée irrigation (minutes)
Falardeau	A	13	113
	B	23	200
	C	29	252
Ascension	A	14	122
	B	20	174
	C	27	235

5.5 Besoin en eau

5.5.1 Évapotranspiration de la culture – Sondes TDR

La variation quotidienne de la teneur en eau volumique dans les 20 premiers cm du sol, mesuré avec les sondes TDR, a été rapportée en mm d'eau. La valeur obtenue peut être utilisée pour évaluer l'évapotranspiration de la culture ($ET_c - TDR$). Pour y parvenir, la valeur mesurée à 20h (2 juin au 31 août) ou celle de 19h (1^{er} au 14 septembre) a été soustraite de la valeur mesurée à 5h la même journée. Un total de 135 valeurs quotidiennes a ainsi été obtenu. De ce nombre, les valeurs issues de journées où il y a eu des précipitations et celles au lendemain de ces précipitations ont été éliminées. À terme, 45 et 47 valeurs, respectivement pour le site Falardeau et Ascension ont été retenues et sont présentées aux Figure 17 et Figure 18. Les valeurs tendent à être plus élevées dans la première moitié de la saison. De plus, pour le site Falardeau et à une exception près pour le site Ascension, les valeurs maximales observées pour une journée sont inférieures à 2,5 mm.

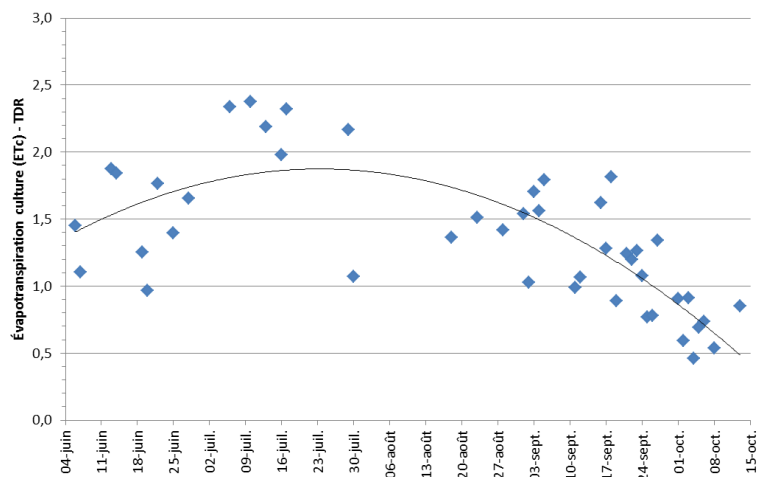


Figure 17. Évapotranspiration de la culture (ET_c) quotidienne (mm) au site Falardeau – Sondes TDR.

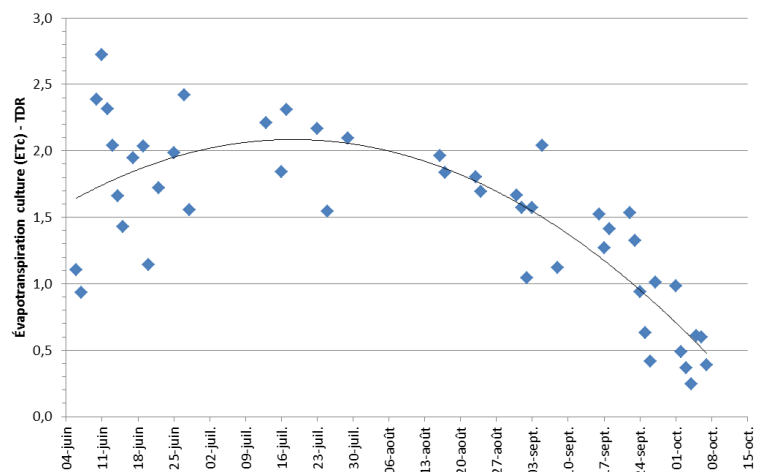


Figure 18. Évapotranspiration de la culture (ET_c) quotidienne (mm) au site Ascension – Sondes TDR.

5.5.2 Coefficient culturel (K_c)

Pour chacun des sites, les valeurs quotidiennes d'évapotranspiration de la culture mesurées avec les sondes TDR qui sont présentées aux figures Figure 17 et Figure 18 ont été mises en relation avec les valeurs d'évapotranspiration potentielle mesurées par la station météorologique (21 juillet au 14 septembre) et sont présentés aux Figure 19 et Figure 20. Le rapport entre ces deux valeurs peut être utilisé pour évaluer un coefficient culturel (K_c) de la culture. En moyenne, ce coefficient est de 0,5 pour le site Falardeau et de 0,45 pour le site Ascension. Donc, pour une journée où l' ET_p mesurée par la station météo est de 5 mm et où les plants sont développés, il est raisonnable de penser que l' ET_c sera respectivement de 2,5 et 2,3 pour le site Falardeau et Ascension.

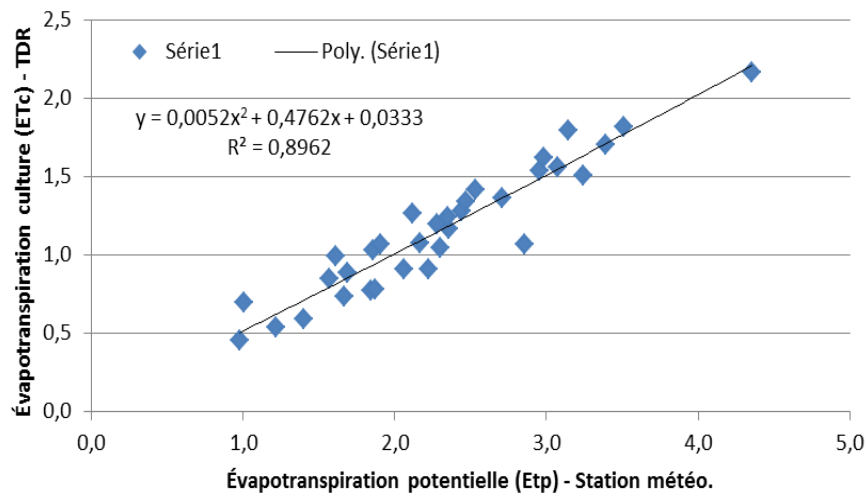


Figure 19. Relation entre ET_p (Station météo) et l' ET_c (Sonde TDR) – Site Falardeau.

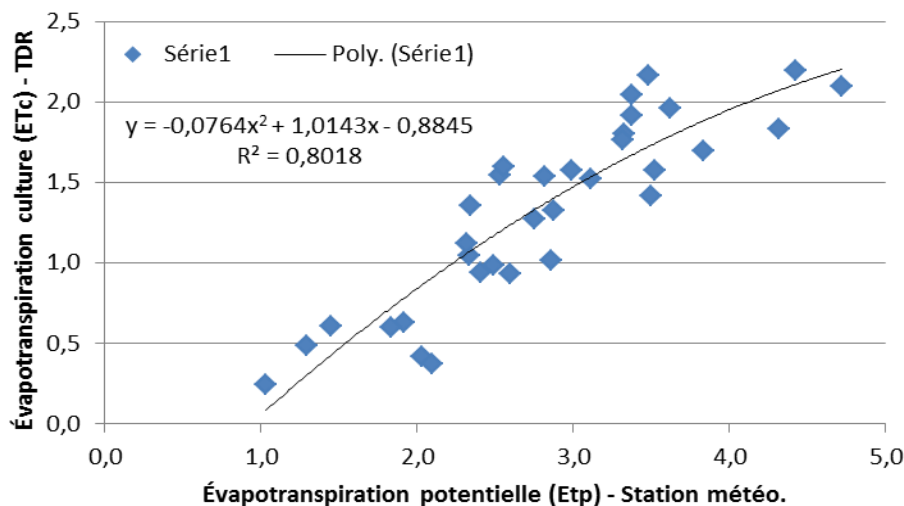


Figure 20. Relation entre ET_p (Station météo) et l' ET_c (Sonde TDR) – Site Ascension.

6 Conclusion

En production depuis 2003 et 2008 respectivement, les sites Falardeau et Ascension ont été en année de végétation à la saison 2015. Une des premières activités réalisées sur chacun des sites a été de prélever des échantillons de sols au printemps 2015, afin d'effectuer une courbe de désorption en eau. En s'appuyant sur l'approche « RFU plateau », cet exercice a d'abord permis d'estimer une hauteur d'eau avec laquelle travailler. Ainsi, lorsque le sol est à la capacité au champ (CC), cette hauteur est de 30 mm pour les 20 premiers cm de sol et ces valeurs sont les mêmes pour les deux sites à l'étude. La profondeur considérée va de pair avec l'enracinement observé.

Ensuite, ces informations ont été utilisées pour déterminer trois seuils d'intervention avec l'irrigation. Ces seuils, identifiés avec les lettres A, B et C, correspondent à des valeurs de hauteurs d'eau utilisées. En ce qui a trait au site Falardeau, un épisode d'irrigation devait être déclenché lorsque 13 (A), 23 (B) et 29 mm (C) d'eau étaient soustraits des 94 mm que peut contenir ce Loam sableux à la CC. Toujours à partir des résultats obtenus avec la courbe de désorption en eau, une valeur de potentiel matriciel a été associée aux seuils identifiés. Par conséquent, des tensiomètres ont pu être utilisés pour valider le moment où les seuils ont été atteints. Pour le site Falardeau, lorsque le sol est à la CC, le tensiomètre indique 4,3 kPa, alors qu'il indique respectivement 15, 25 et 35 kPa, lorsque la consigne A, B ou C est atteinte. Pour le site Ascension, il y a intervention avec l'irrigation avec la consigne A quand 14 mm d'eau ont été soustraits aux 52 mm que peut retenir ce sable loameux à la CC, alors que l'irrigation est déclenchée lorsque 20 mm (consigne B) et 27 mm (consigne C) sont soustraits à ce 52 mm. Ces valeurs correspondent respectivement à 10, 18 et 35 kPa pour les consignes A, B et C. Enfin, à la CC, la valeur lue par le tensiomètre sera de 4,7 kPa.

L'irrigation a été déclenchée à une reprise pour chacun des sites, soit le 18 août et le 23 septembre respectivement pour le site Falardeau et Ascension. En considérant une efficacité d'application théorique de 100 %, 113 minutes d'irrigation ont été nécessaires pour apporter les 13 mm d'eau qui ont été utilisés par la culture (consigne A) au site Falardeau et 122 minutes au site Ascension pour remplacer les 14 mm utilisés (consigne A). Compte tenu des précipitations fréquentes, la culture a effectué la quasi-intégralité de son développement dans des conditions hydriques de sol entre la CC et la consigne A, soit des conditions de sol peu propices aux stress hydriques conséquents à un manque d'eau.

Quoiqu'il soit impossible de se prononcer sur la probabilité que la culture ait subi un stress hydrique dommageable selon les seuils à l'étude, les besoins en eau de cette culture sont mieux connus. Pour la période comprise entre le 4 juin et le 15 octobre, les valeurs quotidiennes d'évapotranspiration de la culture (ET_c) mesurée avec des sondes TDR ont atteint une valeur maximale de 2,5 mm. Globalement, les valeurs tendent à être plus élevées dans la première moitié de la saison.

En ce qui a trait à l'évapotranspiration potentielle (ET_p), elle a été mesurée avec des stations météorologiques installées sur chacun des sites, pour la période comprise entre le 21 juillet et le 23 septembre. Des valeurs de 183 et 210 mm, respectivement pour le site Falardeau et Ascension ont été mesurées. À partir de l' ET_p , la demande en ET_c a été estimée avec les coefficients culturaux déterminés avec les résultats obtenus avec ce projet. Conséquemment, avec un K_c moyen de 0,5 pour le site Falardeau, l' ET_c a été évaluée à 92,6 mm. Pour le site Ascension, un K_c moyen de 0,45 a été déterminé et a été appliqué à la valeur d' ET_p de 210 mm, ce qui donne une ET_c identique à l'autre site, soit de 92,6 mm, toujours pour la période comprise entre le 21 juillet et le 23 septembre. Enfin, durant cette période, 393 et 313 mm de pluie ont été respectivement mesurés au site Falardeau et Ascension.

Références bibliographiques

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

CPVQ (Conseil des productions végétales du Québec). 1988. Méthodes d'analyse des sols, des fumiers et des tissus végétaux. CPVQ. Québec. Agdex 533, méthode SS-1.

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.

Isaac, R.A. et W.C. Johnson. 1976. Determination of total nitrogen in plant tissues using a block digester. J. Ass .Off. Anal. Chem., Volume 69, p. 98-101.

Institut de la statistique du Québec (ISQ) et le Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ). 2014. Profil sectoriel de l'industrie horticole au Québec. Édition 2014, 108 p. [En ligne], <http://www.stat.gouv.qc.ca/statistiques/agriculture/profil-industrie-horticole.html>

Annexes



Figure 21. Essais des gicleurs lors de l'installation 3 juin – Site Ascension.



Figure 22. Sonde température de l'air au champ en production de fruits - Site Falardeau le 19 juin 2015.

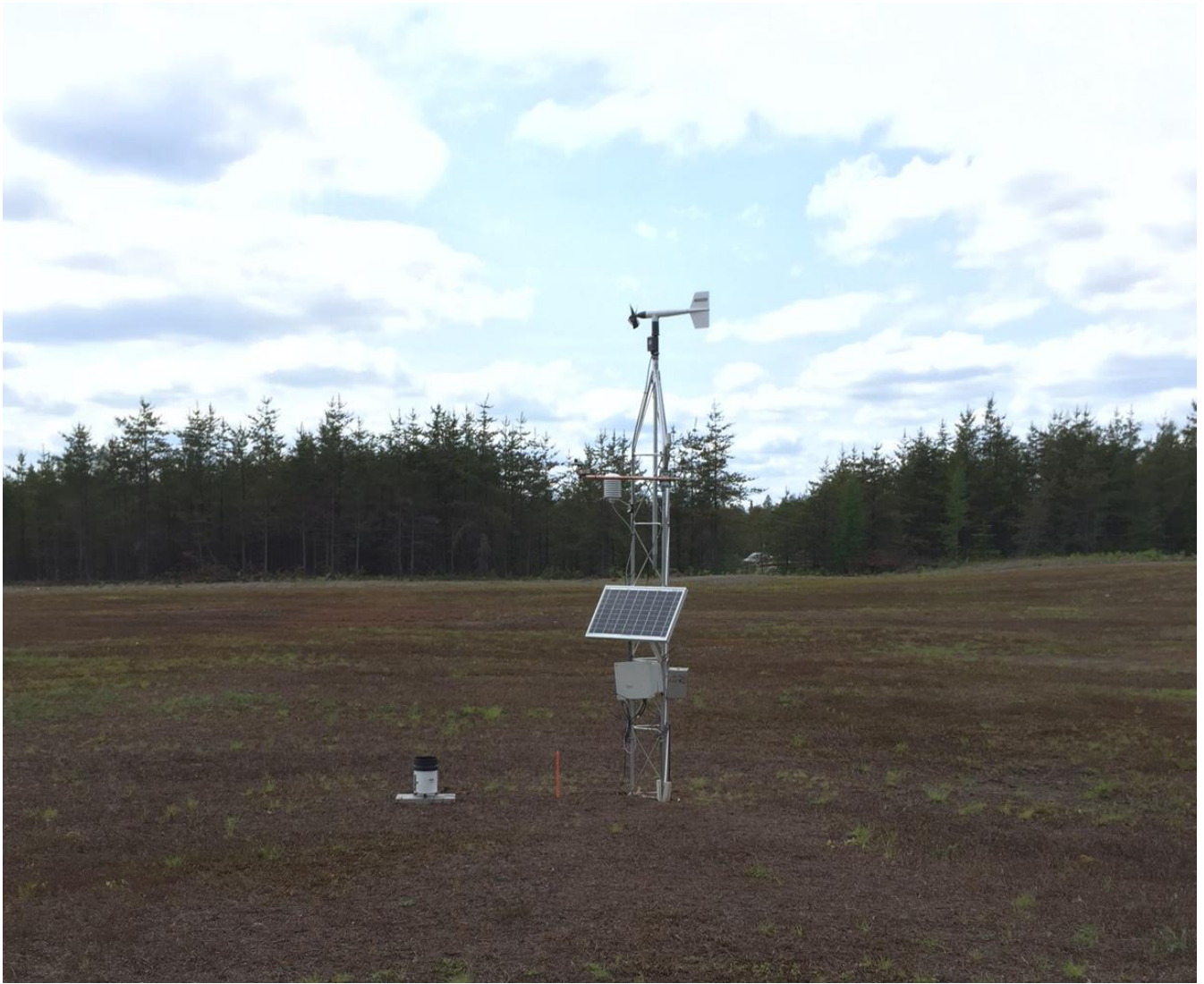


Figure 23. Station météorologique - Site Falardeau le 3 juin 2015.