

Rapport final

No projet : IA217778

Stratégies culturelles pour la camerise : intervenir afin d'améliorer la productivité des vergers

Carl Boivin - IRDA
Jérémy Vallée - IRDA
Antoine Lamontagne - IRDA

Responsable scientifique : Carl Boivin
IRDA

1^{er} mai 2019

Section 1 - Chercheur impliqué

Carl Boivin

Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA)

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

418 643-2380 poste 430

carl.boivin@irda.gc.ca

Section 2 - Partenaires

Équipe de réalisation

IRDA

- Carl Boivin, agr., M.Sc., chercheur
- Jérémie Vallée, agr., B.Sc., professionnel de recherche
- Antoine Lamontagne, technicien agricole
- Michelle Grenier, M.Sc., biostatisticienne

MAPAQ

- Pierre-Olivier Martel, agr., conseiller régional en horticulture fruitière à la DRSLSJ
- Christian Lacroix, agr., MBA, conseiller régional en horticulture à la DRCA

Producteurs

- Denis Carrier, Saint-Anselme (CA)
- Denis Bouchard, Saint-Nazaire (SLSJ)
- Luc Lavoie, Métabetchouan-Lac-à-la-Croix (SLSJ)
- Pierre-Olivier Martel, Desbiens (SLSJ)
- Alain Marcoux, Sainte-Marie (CA)

Industrie

- Dubois Agrinovation inc.
- Récoltech Accessoires Maraîchers inc.
- Végétolab inc.
- Les Jardins de l'anse (2016) inc.

Section 3 – Fiche de transfert

Stratégies culturales : intervenir afin d'améliorer la productivité de la camerise

Carl Boivin, Jérémie Vallée et Antoine Lamontagne
Collaborateurs : Pierre-Olivier Martel et Christian Lacroix

No de projet : IA217778

Durée : 04/2017 – 04/2019

FAITS SAILLANTS

La croissance végétative et le rendement en fruits des cultivars Tundra et Indigo Gem n'ont pas été influencés différemment par les 11 stratégies culturales à l'étude. Qu'ils aient été irrigués ou non, sans égard au type de système d'irrigation, avec ou sans paillis et fertilisés avec de l'engrais granulaire ou soluble, aucune différence significative n'a été mesurée. La dose de fertilisant apportée était la même, tout comme la consigne pour déclencher l'irrigation. La croissance annuelle moyenne du Tundra a été de 25,0 et 24,7 cm, alors que celle du Indigo Gem a été de 6,7 et 7,7 cm, respectivement en 2017 et 2018. Le rendement moyen en fruits par plant du Tundra a été de 518,7 à 682,8 g en 2017 et de 988,2 et 1276,7 g en 2018. Pour Indigo Gem, de 398,9 à 632,0 g en 2017 et de 237,7 à 514 g en 2018. Aucune contrainte, en ce qui a trait au prélèvement eau par la culture, n'a été mesuré durant le projet. Une telle contrainte, propice à ce que la culture subisse un stress hydrique, a brièvement été mesurée en juillet 2018 pour deux sites satellites situés à Métabetchouan. Le prélèvement quotidien en eau (évapotranspiration de la culture) varie de 0,5 à 1,5 mm, avec des valeurs maximales se rapprochant de 2,5 mm. Les besoins sont croissants, pour atteindre un plateau vers la récolte à la mi-juillet, pour ensuite décroître. Des coefficients culturaux ont été estimés et sont généralement inférieurs à 0,3. Ces derniers sont essentiels lorsque le bilan hydrique est utilisé pour savoir quand déclencher l'irrigation. Tundra a respectivement reçu 27 et 16 irrigations en 2017 et 2018, alors que Indigo Gem a été irrigué 13 fois en 2017 et 14 fois en 2018. Pour chacun des sites et saisons, les pertes en eau (évapotranspiration) ont été comparées entre des parcelles de camerisiers bien implantés avec et sans paillis de polyéthylène noir. Les pertes moyennes ont toujours été inférieures avec un paillis (41 % en 2018 avec Tundra). Maintenant, en ne considérant que les composantes du système présentes dans le périmètre du champ irrigué, il faut compter entre 776 et 6298 \$/ha pour adopter l'une ou l'autre des stratégies à l'étude. Celle avec les piquets arroseurs est la plus dispendieuse. Dans les contextes étudiés, le camerisier est une culture à faible risque de subir un stress hydrique.

OBJECTIFS ET MÉTHODOLOGIE

Ce projet avait comme objectif d'améliorer la productivité des vergers de camerisiers en intervenant sur l'efficacité de prélèvement de l'eau et des éléments nutritifs. Onze stratégies culturales ont ainsi été comparées chez deux producteurs en 2017 et 2018, selon le prélèvement en eau, le rendement, la croissance végétative et le coût d'adoption. Les cultivars ont été le Tundra (implantation 2014) et le Indigo Gem (implantation 2012), respectivement à Saint-Anselme (Chaudière-Appalaches) et à Saint-Nazaire (Saguenay-Lac-Saint-Jean). Les stratégies étaient une combinaison des 4 facteurs suivants : Paillis (polyéthylène noir, géotextile tissé de bandes de polypropylène communément appelé tapis de pépinière ou sol nu), Irrigation (tube goutte à goutte, piquets arroseurs ou goutteurs et sans irrigation), Fertilisation (à dose égale avec engrais granulaire conventionnel ou à libération contrôlée ou fertigation), Zone fertilisée (via le trou de plantation, via le système d'irrigation, dans l'entre rang ou sur le rang). Une même consigne d'irrigation (25 kPa) a été utilisée sur chacun des sites et suivie à l'aide de tensiomètres. Les 11 stratégies ont été randomisées à l'intérieur d'un plan en blocs (4) complets aléatoires. Une parcelle était composée de 5 ou 6 plants consécutifs. De plus, un suivi ayant trait au prélèvement en eau a été réalisé sur quatre sites satellites afin de diversifier les contextes étudiés (sol, cultivar, âge, etc.).

RÉSULTATS SIGNIFICATIFS POUR L'INDUSTRIE

En mesurant la diminution quotidienne de la teneur en eau du sol, il est possible d'estimer les prélèvements de la culture et les pertes par évaporation (évapotranspiration de la culture). Cet exercice n'est possible que pour les journées où il n'y a pas d'apports en eau provenant des précipitations ou de l'irrigation. Cette diminution quotidienne a été rapportée en hauteur d'eau et est présentée à la Figure 1. Cet exemple est la moyenne de 6 parcelles, en présence du cultivar Tundra, dont la surface du sol était recouverte de paillis de plastique. Donc, dans ces conditions, le prélèvement mesuré en 2017 à Saint-Anselme se situait généralement entre 0,5 et 1,5 mm avec des valeurs maximales inférieures à 2 mm. Enfin, les besoins en eau sont croissants, pour atteindre un plateau vers la récolte à la mi-juillet, pour ensuite décroître.

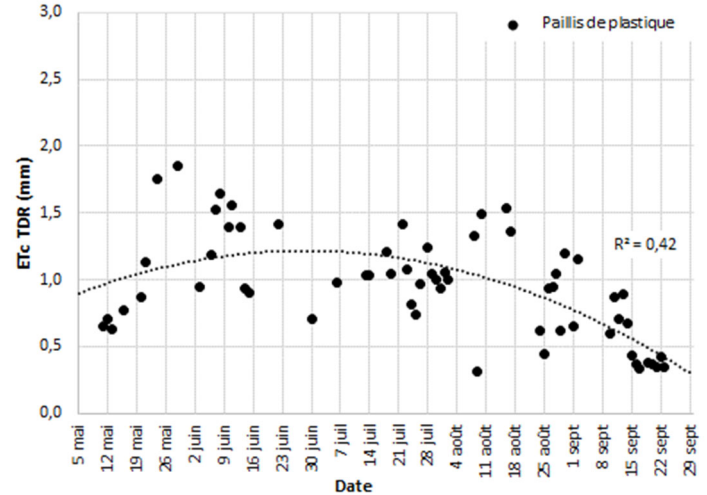


Figure 1. Évapotranspiration de la culture quotidienne (mm) estimée par TDR – Paillis de plastique 2018.

Toujours en excluant les journées où il y a eu un apport en eau, le prélèvement quotidien moyen des parcelles avec et sans paillis a été totalisé, à des fins comparatives, et est présenté au Tableau 1 selon le cultivar et la saison. Ainsi, en 2017 le prélèvement moyen total (34 jours) du Indigo Gem a été de 29,4 mm avec un paillis et de 50,2 mm sans paillis. Cet écart de 41 % met en lumière la perte par évaporation à la surface du sol en contexte de sol nu. Utiliser un paillis est une bonne pratique de conservation de l'eau.

Tableau 1. Évapotranspiration de la culture quotidienne cumulative estimée, avec et sans paillis selon le cultivar, la saison et le nombre de jours.

Cultivar	Saison	Nombre de jours considérés	Évapotranspiration de la culture totale pour le nombre de jours considérés (mm)		Écart	
			Paillis plastique	Sol nu	mm	%
Tundra	2017	41	37,2	40,4	3,2	8
	2018	45	35,0	50,7	15,8	31
Indigo Gem	2017	34	29,4	50,2	20,8	41
	2018	43	43,4	53,5	10,0	19

Les coûts présentés à la figure 2 réfèrent aux systèmes culturaux comparés dans le cadre de ces essais (paillis, système d'irrigation et type de fertilisant). La densité de plants à l'hectare retenue pour l'exercice est de 2100. De plus, les coûts ne représentent que ce qui entre comme matériel dans le périmètre du verger. Par exemple, la pompe, le filtre, la main d'œuvre, etc. ne sont pas considérés. La stratégie G est celle qui est la plus représentative des vergers récemment implantés, qui se classe au 2^e rang des moins « dispendieuses ». Il est difficile d'encourager l'adoption de la stratégie A, la plus économique, qui est non fertilisée. Si à court terme aucune baisse significative de rendement n'a été mesurée, il est fort probable qu'à moyen terme, il y en aurait.

Id.	Traitement			Coût	
	Paillis	Système d'irrigation	Fertilisation	\$/ha	\$/plant
A	Plastique	Non irrigué	Non fertilisé	776	0,37
B	Plastique	Non irrigué	Fertigation	991	0,47
C	Plastique	Non irrigué	Engrais libération contrôlée	1091	0,52
D	Plastique	Piquets goutteurs	Fertigation	5826	2,77
E	Aucun	Piquets arroseurs	Fertigation	6298	3,00
F	Plastique	Goutte-à-goutte	Fertigation	2438	1,16
G	Plastique	Non irrigué	Engrais conventionnel	830	0,40
H	Type pépinière	Goutte-à-goutte	Fertigation	4188	1,99
I	Aucun	Goutte-à-goutte	Fertigation	1661	0,79
J	Aucun	Goutte-à-goutte	Engrais conventionnels	1501	0,71
K	Aucun	Goutte-à-goutte	Engrais libération contrôlée	1762	0,84

Figure 2. Coûts des 11 stratégies culturaux rapportés à l'ha et par plant (2100 plants/ha).

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

Il serait précipité d'affirmer que l'irrigation et la fertilisation n'ont pas d'impact sur la croissance végétative et la productivité en fruits du camerisier. De l'implantation, jusqu'à ce que les plants atteignent leur maturité, les besoins en eau et en fertilisants sont changeants et l'architecture évolutive des plants est source d'opportunités et même de menaces. Par exemple, il est inutile d'apporter les fertilisants dans l'entre-rangs tant que les racines n'ont pas colonisé cette zone. L'apport d'engrais via le trou de plantation (contexte avec paillis) sera fort probablement plus efficace durant les premières années, où l'essentiel des racines s'y trouve, que lorsque les plants sont matures. La fertigation peut devenir une alliée intéressante pour apporter les fertilisants où sont situées les racines. Aussi, le paillis est un moyen de conserver l'eau du sol, mais peut représenter un risque, en contexte non irrigué, pour des plants nouvellement mis en terre.

Les différentes stratégies à l'étude ont possiblement une ou des fenêtres idéales, dans le développement du plant, pour être un atout. Toutefois, il n'a pas été possible de le mesurer sur la période étudiée. Aussi, il peut être plus difficile de mesurer un impact, à court terme, sur un arbuste que sur une culture annuelle. Sans oublier l'effet cumulatif des traitements qui peuvent s'installer au fil des années. De tels essais gagneraient à être réalisés de façon continue, de la plantation jusqu'à la maturité des plants. Cela dit, les résultats de ce projet indiquent que le paillis est un excellent moyen de conservation de l'eau et que les deux cultivars étudiés ont des besoins en eau plutôt faibles. Dans un tel contexte, le risque de subir un stress hydrique est réduit.

POINT DE CONTACT POUR INFORMATION

Responsable du projet : Carl Boivin
418 643-2380 poste 430
carl.boivin@irda.qc.ca

REMERCIEMENTS AUX PARTENAIRES FINANCIERS

Ces travaux ont été réalisés grâce à une aide financière du Programme de soutien à l'innovation en agroalimentaire, un programme issu de l'accord du cadre Cultivons l'avenir conclu entre le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation et Agriculture et Agroalimentaire Canada.

Dubois Agrinovation inc., Récoltech Accessoires Maraîchers inc., Végétolab inc. et Les Jardins de l'anse (2016) inc. ont aussi participé financièrement à projet.

Section 4 - Activité de transfert et de diffusion scientifique

Ne s'applique pas

Section 5 - Activités de diffusion et de transfert aux utilisateurs	
Activité de transfert	Nom du document à l'appui
Site internet de l'IRDA	https://www.irda.qc.ca/fr/projets-recherche/camerise-productivite-vergers/
Bulletin mensuel électronique de l'IRDA (1500 abonnés)	Agrosolutions Express - Volume 8 no.4, Octobre 2017
<i>Journée Camerise Québec</i> , 10 novembre 2018	Programme journée 10 NOV 2018 CAMERISES QUÉBEC
<i>Rencontre bilan de saison 2018 sur les cultures émergentes</i> (MAPAQ), 1 ^{er} février 2019	ODJ_Rencontre bilan de saison 2018_final
<i>Conférences agricoles, Camerise</i> , 22 février 2019	Journees_conferences_agricoles_SLSJ_2019_Web-FINAL

Section 6 – Grille de transfert des connaissances

1. Résultats Présentez les faits saillants (maximum de 3) des principaux résultats de votre projet.	2. Utilisateurs Pour les résultats identifiés, ciblez les utilisateurs qui bénéficieront des connaissances ou des produits provenant de votre recherche.	3. Message Concrètement, quel est le message qui devrait être retenu pour chacune des catégories d'utilisateurs identifiées? Présentez un message concret et vulgarisé. Quels sont les gains possibles en productivité, en rendement, en argent, etc.?	4. Cheminement des connaissances 1. a) Une fois le projet terminé, outre les publications scientifiques, quelles sont les activités de transfert les mieux adaptées aux utilisateurs ciblés? (conférences, publications écrites, journées thématiques, formation, etc.) 2. b) Selon vous, quelles pourraient être les étapes à privilégier en vue de maximiser l'adoption des résultats par les utilisateurs.
Les différentes stratégies culturales n'ont pas engendré de bénéfices agronomiques importants.	Les fournisseurs de matériel agricole, les conseillers agricoles spécialisés, les producteurs de camerises	À court terme, il n'y a pas de gains agronomiques importants (rendement, calibre, qualité) à opter pour une stratégie culturale donnée. Toutefois, les essais n'ont pas permis d'évaluer les gains agronomiques que les différentes stratégies auraient pu offrir lors de l'implantation du verger.	<ul style="list-style-type: none"> • Conférence auprès de publics cibles (voir utilisateurs). • Poursuivre des essais à plus long terme sur la performance des systèmes culturaux.
Le prélèvement en eau typique des camerisiers se situe entre 0,5 et 1,5 mm par jour avec des pointes pouvant atteindre 2,5 mm.	Les fournisseurs de matériel agricole, les conseillers agricoles spécialisés, les producteurs de camerises	Les prélèvements en eau des camerisiers (Cv. Tundra 4-5 ans et Indigo Gem 6-7 ans) estimés à l'aide des TDR indiquent qu'il s'agit d'une culture dont les besoins en eau sont de faible à modéré.	<ul style="list-style-type: none"> • Conférence auprès de publics cibles (voir utilisateurs). • Poursuivre des essais à plus long terme sur le prélèvement en eau de camerisiers matures et hautement productifs.
Le paillis de polyéthylène noir est une stratégie de conservation de l'eau du sol.	Les fournisseurs de matériel agricole, les conseillers agricoles spécialisés, les producteurs de camerises	Le paillis de polyéthylène permet de limiter les pertes en eau par évaporation. Lorsque les plants sont bien développés, il peut être utilisé avec ou sans irrigation. Dans un contexte de verger en implantation, le paillis de polyéthylène imperméable limite grandement l'apport en eau par les précipitations et peut même favoriser, avec son effet de réchauffement sur le sol, l'évaporation de l'eau. Dans ce cas, un système d'irrigation diminue le risque, surtout avec un sol de texture légère.	<ul style="list-style-type: none"> • Conférence auprès de publics cibles (voir utilisateurs).

Section 7 - Contribution et participation de l'industrie réalisées

Échanges sur les résultats, implication lors de l'implantation des dispositifs.

Denis Carrier, Saint-Anselme (CA) et Denis Bouchard, Saint-Nazaire (SLSJ)

- Emplacement (matériel végétal pour les dispositifs)
- Support matériel et logistique
- Temps de travail au projet (opérations culturelles)

Contribution en argent et en nature

- Dubois Agrinovation inc.
- Récoltech Accessoires Maraîchers inc.
- Végétolab inc.
- Les Jardins de l'anse (2016) inc.

Section 8 - Rapport technique

MISE EN CONTEXTE

La camerise est un petit fruit, dont la culture est relativement nouvelle au Québec. Actuellement, près de 200 producteurs se partagent environ 500 ha dont le tiers de ces superficies est situé dans la région du Saguenay-Lac-Saint-Jean. De plus, le secteur de la production est en pleine expansion, où 400 ha ont été plantés de 2013 à 2015. Les cultures au « passé récent », sont généralement accompagnées d'une régie culture qui a été développée dans d'autres conditions que celles du Québec. En effet, l'implantation et la régie de culture des premiers vergers implantés en 2006 s'appuyaient essentiellement sur les travaux de M. Bob Bors de l'Université de Saskatchewan. Il y a eu ensuite un guide de production produit au Québec. Ce dernier a été fait à partir d'observations réalisées depuis les premières plantations, alors qu'aucun herbicide n'était homologué.

Maintenant que les premiers vergers ont atteint leur maturité, les intervenants du secteur constatent que la productivité des plantations est inférieure à celle qui est attendue et par conséquent, cela affecte le potentiel de rentabilité des vergers. Le recours à un paillis de polyéthylène noir est une pratique généralisée et ce dernier complique l'apport des fertilisants et détourne une portion des apports en eau provenant des précipitations. Aussi, peu de vergers sont équipés pour être irrigués. Le système cultural actuel pourrait donc être en partie responsable de la problématique. Les stratégies à l'étude ont certes été réfléchies pour orienter les prochaines implantations et la régie de culture de ces dernières, mais aussi pour soutenir et améliorer la productivité des vergers en place.

OBJECTIFS

Objectif principal : Améliorer la productivité des vergers de camerisiers en intervenant sur l'efficacité de prélèvement de l'eau et des éléments nutritifs par la culture.

Sous-objectifs :

- 1) Comparer 11 stratégies culturales à des régies de culture représentatives ou favorables à une distribution optimale de l'eau
- 2) Évaluer les coûts pour l'adoption d'une stratégie;
- 3) Évaluer le besoin en eau du camerisier.

MÉTHODOLOGIE

Sites expérimentaux

Les essais ont été réalisés dans des vergers de camerisiers déjà implantés et entretenus. Le premier verger qui a été retenu pour l'implantation d'un dispositif expérimental est situé à Saint-Anselme, en Chaudière-Appalaches (CA) (46.611501°, -70.945149°). Il est constitué du cultivar Tundra, implanté en 2014. Le second site retenu est situé au Saguenay-Lac-Saint-Jean (SLSJ), dans la municipalité de Saint-Nazaire (48.600071°, -71.599706°). Celui-ci a été implanté en 2012 et le cultivar retenu pour les essais a été l'Indigo Gem.

Aussi, 4 autres sites ont été instrumentés au printemps pour suivre le statut hydrique du sol et pour comparer les résultats. Trois de ces sites étaient situés dans la région du Saguenay-Lac-Saint-Jean soit 1 site à Desbiens et 2 sites à Métabetchouan, alors que le 4^e site était situé à Sainte-Marie de Beauce en Chaudière-Appalaches.

Traitements

La constitution des stratégies culturales (traitements) s'est appuyée sur 4 grandes composantes soient : le type de paillis de sol, le système d'irrigation, la fertilisation et la zone fertilisée (Tableau 1).

Tableau 1. Description des traitements à l'étude selon le type de paillis, le type de système d'irrigation, la fertilisation ou la zone de fertilisation.

Traitement	Paillis	Système d'irrigation	Fertilisation	Zone fertilisée
A	PP	NI	NF	SYS
B	PP	NI	F	TR
C	PP	NI	ELC	TR
D	PP	PGO	F	SYS
E	SPP	PGI	F	SYS
F	PP	DIN	F	SYS
G	PP	NI	CV	ER
H	PÉP	DIN	F	SYS
I	SPP	DIN	F	SYS
J	SPP	DIN	CV	RG
K	SPP	DIN	ELC	RG

Paillis couvre-sol

Il y avait 3 combinaisons possibles : paillis de polyéthylène noir conventionnel (PP), paillis de type « tapis de pépinière » (géotextile tissé de bandes de polypropylène) (PÉP) ou sans paillis (SPP). Pour les parcelles sans paillis, le contrôle des mauvaises herbes a été effectué par un herbicide appliqué à l'aide d'un pulvérisateur à main (Mantis ULV, Mankar).

Type d'irrigation

Il y avait 4 types de systèmes d'irrigation possibles : un système avec un tube de goutte-à-goutte (DIN), avec des piquets arroseurs (PGI) ou des piquets goutteurs (PGO) ou tout simplement sans système d'irrigation (NI) (détails du matériel utilisé selon les sites au Tableau 2 et Tableau 3). Pour les traitements avec irrigation, la même consigne de déclenchement a été utilisée (pour un même site). La consigne a été déterminée à partir de la courbe de désorption en eau du sol spécifique au site et la durée a été déterminée au champ selon la profondeur du système racinaire.

Tableau 2. Marque, modèle et débit respectif (gph) des équipements d'irrigation utilisés au site de Saint-Anselme.

Équipement	Marque	Modèle	Débit (gph)
Tube goutte-à-goutte	Toro	Blue Line PC 5/8", 18"	0,26
Piquets goutteurs	Toro	IPS0301BQ	0,5
Piquets arroseurs	Netafim	PNCL	6,6

Tableau 3. Marque, modèle et débit respectifs (gph) des équipements d'irrigation utilisés au site de Saint-Nazaire.

Équipement	Marque	Modèle	Débit (gph)
Tube goutte-à-goutte	Netafim	Uniram 5/8", 24"	0,26
Piquets goutteurs	Toro	IPS0301BQ	0,5
Piquets arroseurs	Netafim	PNCL	6,6

Fertilisation

Il y avait 4 combinaisons possibles : la fertigation (F), l'application d'engrais granulaire conventionnel (CV), ou à libération contrôlée (ELC) ou sans fertilisation (NF). Pour les traitements avec fertilisation, la même dose d'azote a été apportée pour l'ensemble des traitements (Tableau 4). L'application des engrais conventionnels et à libération contrôlée s'est fait au moment de l'implantation du dispositif en 2017 (17 mai à Saint-Anselme et le 24 mai à Saint-Nazaire). En 2018, les engrais ont été appliqués le 14 et 15 mai respectivement au site de Saint-Anselme et Saint-Nazaire.

Les épisodes de fertigation ont été effectués pendant la période de débouillage des camérisiers pour les traitements B, D, E, F, H et I. À tous les 2 deux semaines, un apport de 5 g d'engrais (20-8-20) par plant a été effectué par fertigation, soit par les différents systèmes d'irrigation ou manuellement au pied du plant pour le traitement B (aucun système d'irrigation en place) (Tableau 5). Au total, 5 fertigations ont été réalisées par année. À Saint-Anselme, elles ont eu lieu les 19 mai, les 2 et 15 juin ainsi que les 6 et 20 juillet en 2017. En 2018 les fertigations ont eu lieu le 14 et 29 mai, les 11 et 26 juin ainsi que le 9 juillet. À Saint-Nazaire, c'est le 24 mai, les 6 et 21 juin et les 5 et 14 juillet en 2017. En 2018, la première fertigation a eu lieu le 15 mai suivie du 29 mai, les 12 et 26 juin ainsi que le 9 juillet. Comme il y a différents types d'équipements pour l'apport d'engrais, le temps de fertigation variait selon le traitement (Tableau 5). Le nombre par parcelle fait référence au nombre de goutteurs, arroseurs ou piquets goutteurs présents dans la parcelle. Un épisode d'irrigation a été effectué en post-fertigation. Concrètement, cette irrigation sert de rinçage pour les tuyaux et il est nécessaire pour prévenir le colmatage du système d'irrigation. Cependant, le temps de fertigation et du rinçage se rapproche d'un épisode d'irrigation standard). Le détail des formulations d'engrais utilisées, la quantité appliquée (g/plant), ainsi que l'équivalent en éléments fertilisants. Sont présentés au Tableau 4.

Tableau 4. Nom, formulation, quantité appliquée (g/plant) et apport d'engrais par plant (g) selon le type de fertilisation effectuée.

Type	Traitements	Nom	Formulation	Quantité appliquée (g/plant)	Apport par plant (g)		
					N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Fertigation	A-B-D-E-F-H-I	Plant-Prod	20-8-20	25	5	2	5
Libération contrôlée	C-K	Multicote	15-7-15	33	4,95	2,31	4,95
Conventionnel	G-J	Nitrate d'ammonium calcique	27-0-0	16,95	4,58		
		Phosphate d'ammonium	11-52-0	3,85	0,42	2,00	
		Sulfate de potassium	0-0-51	9,8			5,00
Total CV					5,00	2,00	5,00

Tableau 5. Durée (minutes), volume d'eau (litre) et unité d'azote apportée par plant selon le système d'irrigation et le site.

Site	Système	Nombre / parcelle	Débit (l/min)	Durée (min)	volume d'eau (l)	Unité azote / fertigation / plant
Saint-Anselme	GAG	13	0,016	30	6,4	0,99
	PGO	12	0,032	17	6,4	1,00
	PGI	7	0,357	2,5	6,2	0,97
Saint-Nazaire	GAG	8	0,016	31	4,1	0,98
	PGO	10	0,032	13,5	4,3	1,02
	PGI	6	0,347	2	4,2	1,00

Placement de l'engrais

Selon le type d'engrais utilisé, l'engrais était distribué différemment. L'engrais a donc été appliqué soit par le système d'irrigation (SYS), sur le rang (RG), dans l'entre-rangs (ER) (Figure 39 et Figure 40) ou par le trou de plantation (TR).

Dispositifs expérimentaux

Le dispositif installé à Saint-Anselme (Figure 1) est constitué de 11 traitements ou unités expérimentales qui sont aléatoirement répétés 4 fois à l'intérieur d'un plan en blocs complets. Les parcelles sont constituées de 6 plants consécutifs incluant 2 plants qui sont des plants de gardes. Ainsi, le dispositif compte 264 plants, dont 176 qui ont servi à la collecte des données. L'espacement entre les plants est de 1 m et celle entre les rangs est de 4,5 m.

Le second dispositif, à Saint-Nazaire, est aussi constitué de 11 traitements qui sont répétés 4 fois à l'intérieur d'un plan en blocs complets (Figure 2). Le nombre total de plants par rang ne permettait pas plus de 5 plants par parcelle. Chaque parcelle compte 3 plants sur lesquels les mesures ont été effectuées en plus des 2 plants de gardes entre les parcelles. Ainsi, 220 plants ont reçu les traitements, dont 132 qui ont servi à l'analyse. L'espacement entre les plants est de 1 m et celle entre les rangs est de 5 m. Il est à noter que sur le schéma, la numérotation des parcelles numéro 28 et 29 est inversée et il ne s'agit pas d'une erreur.

La procédure PROC MIXED de SAS (version 9.4) a été utilisée pour cette analyse de variance. Les tests de F permettent d'établir si l'effet de traitement est significatif. Les moyennes des traitements et des groupes de traitements d'intérêt ont été calculées et comparées à l'aide de contrastes et de test de t.

Les dispositifs expérimentaux ont été piquetés et instrumentés très tôt au printemps 2017. Certains traitements (E, I, J, K) ont nécessité que le paillis de plastique soit retiré à la surface du sol sous les plants des parcelles visées. Pour le traitement H, le paillis de plastique du producteur a été remplacé par un paillis de type pépinière. Un système d'irrigation complet et indépendant de celui du producteur a été installé sur chacun des deux sites. Les parcelles nécessitant un apport d'engrais (C, G, J, K) ont reçu la dose établie au préalable. La dose d'engrais appliquée au même titre que la fertigation, représente un amendement d'entretien pour conserver le verger productif au fil des années.

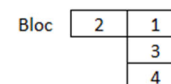
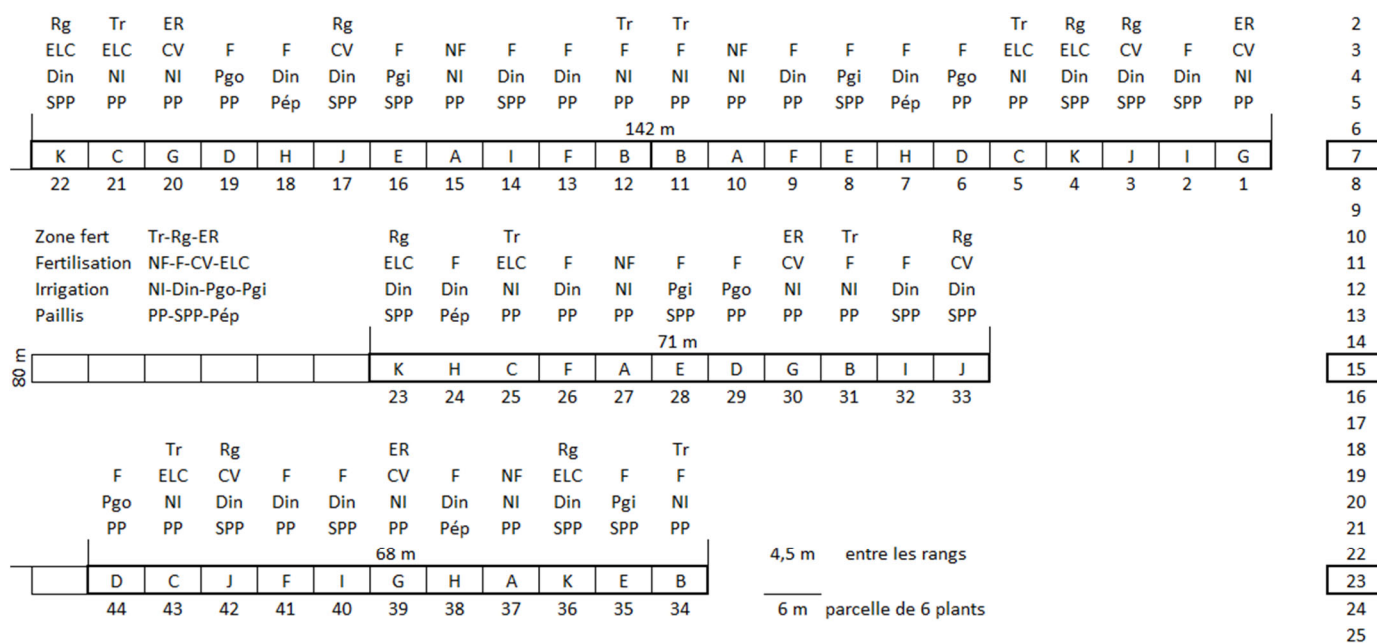


Figure 1. Dispositif expérimental au site de Saint-Anselme, 2017 et 2018.

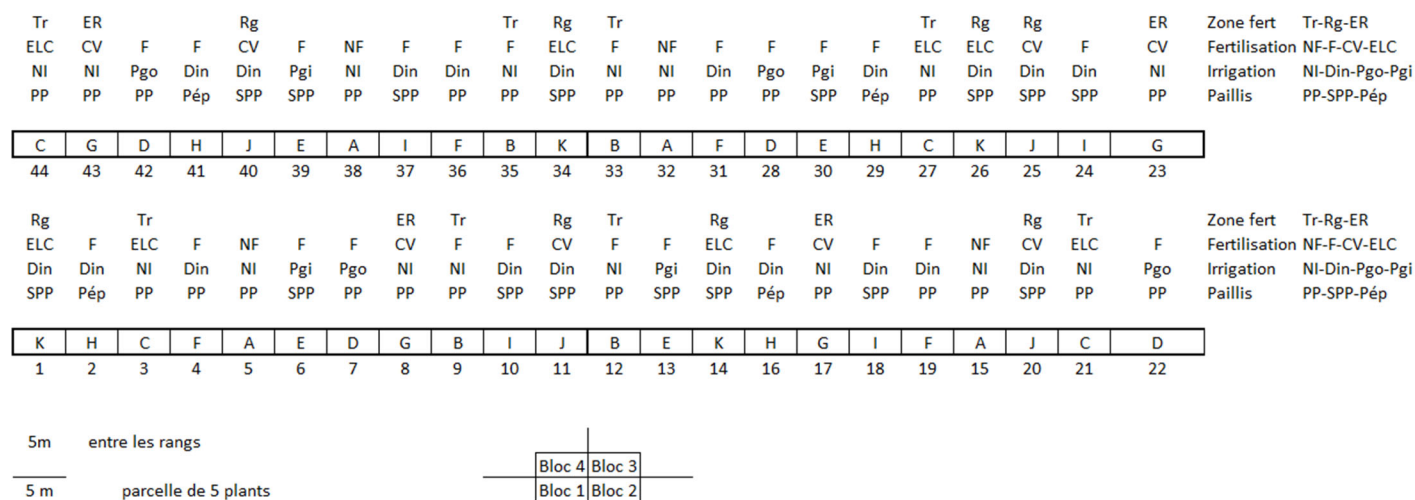


Figure 2. Dispositif expérimental au site de Saint-Nazaire, 2017 et 2018.

Caractérisation des propriétés physiques des sols

La caractérisation du sol des sites expérimentaux a été effectuée sur l'horizon 0 à 15 cm (surface) au printemps 2017 pour les deux sites. Le pH_{eau} a été mesuré dans un rapport sol/eau 1:1 (CPVQ, 1988). La granulométrie a été déterminée par la méthode de l'hydromètre en six points, suivie d'un tamisage des sables (Gee et Bauder, 1986). 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 0-20 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 h. 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 h, 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.

Suivi quotidien du statut hydrique du sol et gestion des apports en eau

Le suivi quotidien du statut hydrique du sol s'est effectué au moyen de quatre tensiomètres (Hortau, TX3 ou TX3web) par site. Les données étaient recueillies par l'interface logiciel Hortau irrolis 1.9 et rendues accessibles via Internet à l'aide d'un modem cellulaire ou directement accessible via l'interface web Irrolis. Des sondes TDR (Campbell Scientific, CS625) ont été installées pour suivre la teneur en eau volumique du sol en continu. Ces sondes ont été connectées sur des acquiiseurs de données (Campbell Scientific, CR200X). Puisqu'il y a différents types d'équipement pour l'irrigation des parcelles, chacune d'elles a été équipée d'une valve. Considérant la différence de débit entre les systèmes, cette valve a permis de gérer manuellement le temps d'irrigation de chacun des traitements pour obtenir une hauteur d'eau appliquée, qui est semblable. La hauteur d'eau appliquée a été déterminée grâce à la caractérisation du sol. À la consigne de déclenchement, chaque traitement recevait une quantité d'eau équivalente, à l'exception de Saint-Anselme en 2018 où la quantité d'eau apportée par les piquets arroseurs a été doublée.

Récoltes et classement des fruits

La récolte des fruits a été effectuée les 3 et 4 juillet 2017 et le 4 juillet 2018 pour le site à Saint-Anselme et les 10 et 11 juillet en 2017 et le 11 juillet 2018 pour Saint-Nazaire. L'ensemble des fruits présents sur 3 ou 4 plants (selon le site) de la zone de récolte pour chacune des parcelles ont été pesés. Ensuite, une moyenne de fruits frais par plant fut effectuée pour caractériser le rendement. Un sous-échantillon (environ 200 g) a été conservé pour déterminer le poids par fruit et pour mesurer au réfractomètre (Hanna Instruments, Hi 96801) le degré Brix (°Brix).

Échantillonnage des feuilles

L'échantillonnage des feuilles a été fait le 1^{er} août à Saint-Nazaire et le 3 août à Saint-Anselme en 2017. En 2018, les feuilles ont été récoltées le 17 juillet à Saint-Nazaire et le 19 juillet à Saint-Anselme. L'échantillonnage des feuilles a été réalisé en récoltant, aléatoirement, 3 feuilles sur 3 tiges saines sur chacun des plants analysés. Les feuilles ont ensuite été séchées et broyées à 100 mesh pour former un échantillon composite. 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 N total a été déterminé par combustion au LECO.

Coefficients culturaux (K_c)

La variation quotidienne de la teneur en eau volumique dans les 25 premiers cm du sol, mesurée avec les sondes TDR, a été rapportée en mm d'eau. La valeur obtenue a pu être utilisée pour évaluer l'évapotranspiration de la culture (ET_{c-TDR}). Pour y parvenir, la valeur mesurée à 5 h a été soustraite de la valeur mesurée à 20 h, et ce, pour chacune des sondes TDR installées. Les valeurs issues de journées où il y a eu des précipitations et celles au lendemain de ces précipitations ont été éliminées. Par la suite, ces prélèvements (ET_{c-TDR}) ont été mis en relation avec l'évapotranspiration potentielle quotidienne pour déterminer un coefficient cultural estimé (k_c) tel que décrit par Allen et coll. (1998). Il est à noter que le k_c obtenu ne considère pas les entre-rangs et ne pourrait donc pas être utilisé pour évaluer les besoins en eau d'un verger avec les mesures de l'évapotranspiration potentielle.

Croissance annuelle

La croissance annuelle a été mesurée pour chaque parcelle. Tard à l'automne, lorsque les feuilles étaient tombées, la longueur des croissances annuelles a été mesurée sur 3 tiges par plant. Les tiges sélectionnées étaient situées dans le dernier tier du plant (partie du haut). Ainsi, la croissance de 3 ou 4 plants par parcelle (selon les sites) a été évaluée. La croissance moyenne par parcelle a ensuite été calculée.

Conditions météorologiques

La pluviométrie a été calculée sur chacun des sites avec un pluviomètre à bascule (Texas Electronics, TR-525M). Les valeurs d'évapotranspiration utilisées proviennent du réseau de stations météorologiques d'Agrométéo Québec (agrometeo.org) ou par des stations météorologiques gérées par l'équipe de l'IRDA. Pour le site de Saint-Anselme, la station de Saint-Bernard (Agrométéo) a été sélectionnée en 2017 et 2018. À Saint-Nazaire, une station située à L'Ascension-de-Notre-Seigneur (projet IA115429) a été utilisée en 2017 tandis que la station météorologique de Jonquière (Agrométéo Québec) a été utilisée en 2018.

RÉSULTATS

Conditions météorologiques

Les conditions météorologiques, plus spécifiquement la pluviométrie et l'évapotranspiration potentielle (ET_p) sont présentées en annexe (Figure 29 à Figure 36). Les sommes cumulatives des conditions météorologiques pour les périodes de suivi sont également présentées au

Tableau 6. En 2017, le site de Saint-Nazaire a reçu 75 mm de pluie de plus que le site de Saint-Anselme, et ce, pour une ET_p semblable. En 2018, bien que la période du suivi soit plus courte, les précipitations ont également été plus élevées au site de Saint-Nazaire (27 mm) tandis que l' ET_p a été plus élevée au site de Saint-Anselme (16 mm). Il est également possible d'avancer que la demande en ET_p pour la saison 2018 a été plus importante que celle en 2017, soit entre 17 et 23 % supérieure.

En 2017, à Saint-Anselme, il y a eu 3 périodes où les précipitations se sont faites rares : du 22 juillet au 3 août (4,5 mm), du 16 août au 2 septembre (17 mm) et du 8 au 26 septembre (0,6 mm). Du côté de Saint-Nazaire, il y a aussi eu 3 périodes où les précipitations se sont faites rares : du 6 au 17 juin (4,8 mm), du 12 au 31 juillet (13,8 mm) et du 6 au 18 septembre (5,2 mm).

Tableau 6. Pluviométrie totale (mm) et évapotranspiration potentielle totale et moyenne (mm) selon le site, l'année et la période.

Site	Année	Période	Nombre de jours	Pluviométrie totale (mm)	ET _p (mm)	
					Totale	Moyenne quotidienne
Saint-Anselme	2017	5 mai au 15 octobre	164	457	499	3,0
		5 mai au 11 septembre	130	371	427	3,3
	2018	5 mai au 11 septembre	130	398	527	4,1
Saint-Nazaire	2017	5 mai au 15 octobre	164	532	498	3,0
		5 mai au 11 septembre	130	426	434	3,3
	2018	5 mai au 11 septembre	130	425	511	4,0

Caractérisation du sol

Tableau 7. pH, détrit, M.O. et texture du sol selon le site.

Site	pH	Détrit	M.O.	Sable Limon Argile			Texture
				(%)			
Saint-Nazaire	5,8	16,3	7,3	54	24	22	Loam sablo-argileux
Saint-Anselme	6,8	33,5	7,5	65	19	16	Loam sableux
Ste-Marie	5,4	14,6	5,0	60	26	14	Loam sableux
Métabetchouan 1	7,0	2,2	4,8	58	21	21	Loam sablo-argileux
Métabetchouan 2	6,2	2,6	2,8	88	4	8	Sable loameux
Desbiens	6,6	2,6	6,1	37	28	35	Loam argileux

Régie d'irrigation et statut hydrique

Une consigne a été établie selon la courbe de désorption en eau du sol pour chacun des sites et un suivi quotidien a permis de gérer les apports en eau par l'irrigation (Figure 37 et Figure 38). Une valeur de -25 kPa a été retenue comme consigne de déclenchement pour les deux sites. Le nombre d'épisodes d'irrigation, leur durée, ainsi que le volume d'eau y correspondant sont présentés au

Tableau 8 pour 2017 et au Tableau 9 pour 2018.

Tableau 8. Selon le site et le type de système d'irrigation, le nombre d'épisodes d'irrigation et diverses informations s'y rattachant - 2017.

Site	Système	Nombre par parcelle*	Débit (l/min)	Durée (min)	Volume d'eau (l)	volume d'eau / irrigation (l)	Hauteur d'eau / plant / irrigation (mm)	Nombre d'irrigations	Hauteur d'eau par plant pour la saison
Saint-Anselme	GAG	13	0,02	45	9,6	9,6	1,6	27	43,2
	PGO	12	0,03	25,5	9,7	9,7	1,6	27	43,4
	PGI	5	0,42	4	8,3	10,0	1,7	27	45,0
Saint-Nazaire		2	0,21	4	1,7				
	GAG	8	0,02	45	5,9	5,9	1,2	13	15,4
	PGO	10	0,03	19	6,0	6,0	1,2	13	15,6
	PGI	4	0,42	3	5,0	6,2	1,2	13	16,2
		2	0,21	3	1,2				

Tableau 9. Selon le site et le type de système d'irrigation, le nombre d'épisodes d'irrigation et diverses informations s'y rattachant - 2018.

Site	Système	Nombre par parcelle*	Débit (l/min)	Durée (min)	Volume d'eau (l)	volume d'eau / irrigation (l)	Hauteur d'eau / plant / irrigation (mm)	Nombre d'irrigation	Hauteur d'eau par plant pour la saison
Saint-Anselme	GAG	13	0,02	60	12,8	12,8	2,1	16	34,1
	PGO	12	0,03	34	12,9	12,9	2,1	16	34,3
	PGI	5	0,42	10,67	22,2	26,7	4,4	16	71,1
Saint-Nazaire		2	0,21	10,67	4,4				
	GAG	8	0,02	60	7,9	7,9	1,6	14	22,0
	PGO	10	0,03	25,33	8,0	8,0	1,6	14	22,4
	PGI	4	0,42	4	6,7	8,3	1,7	14	23,3
		2	0,21	4	1,7				

* nombre de goutteurs ou de piquets par parcelle

En 2017, 27 irrigations ont été nécessaires à Saint-Anselme pour maintenir le statut hydrique du sol. Au site de Saint-Nazaire, 13 irrigations ont été suffisantes. Au terme de la saison, la hauteur d'eau équivalente (volume d'eau d'irrigation par surface occupée par plant, 1m²) s'est respectivement élevée à des valeurs comprises entre 43 à 45 mm et entre 15 et 16 mm au site de Saint-Anselme et de Saint-Nazaire.

En 2018, l'écart entre les 2 sites a été moins important à l'exception du traitement piquet arroseur à Saint-Anselme. En effet, le nombre d'irrigations a atteint 16 à Saint-Anselme et 14 à Saint-Nazaire. La hauteur d'eau équivalente à Saint-Anselme a été de 34,1 et de 34,3 mm pour le goutte-à-goutte et les piquets goutteurs. Par contre, la hauteur d'eau apportée par les piquets arroseurs a atteint un peu plus de 70 mm. La quantité d'eau apportée par irrigation a été doublée à la suite de l'observation du statut hydrique du sol en saison (Figure 3). Un assèchement constant du sol a été observé avec le système d'irrigation avec les piquets arroseurs à Saint-Anselme seulement.



Figure 3. Assèchement constant du sol pour une parcelle irriguée avec un système avec piquets arroseurs, Saint-Anselme, 2017.

Prélèvement en eau des cultures

La période de prélèvement de l'eau par la culture est un processus qui se déroule normalement en période diurne lorsque le processus de transpiration de la plante est actif. Ce processus est directement relié à la demande en ET_p et à l'activité photosynthétique de la feuille. Le suivi du statut hydrique du sol à l'aide des TDR permet d'évaluer les pertes en eau du sol causées par la transpiration des plants et par évaporation à la surface du sol (exemple en Figure 4). L'évaporation de l'eau contenue dans le sol peut être d'ailleurs plus importante pour les traitements sans paillis. Lorsqu'il y a présence de paillis de plastique, l'évolution de la teneur en eau volumique du sol est plus fidèle à la consommation en eau de la culture, car il y a peu de perte par évaporation. La sonde TDR a été installée dans une zone où la densité racinaire est importante. Elle a permis d'effectuer des mesures dans une proportion du système racinaire des plants. Le prélèvement en eau d'un plant a alors été extrapolé à l'aide des mesures effectuées par la sonde.

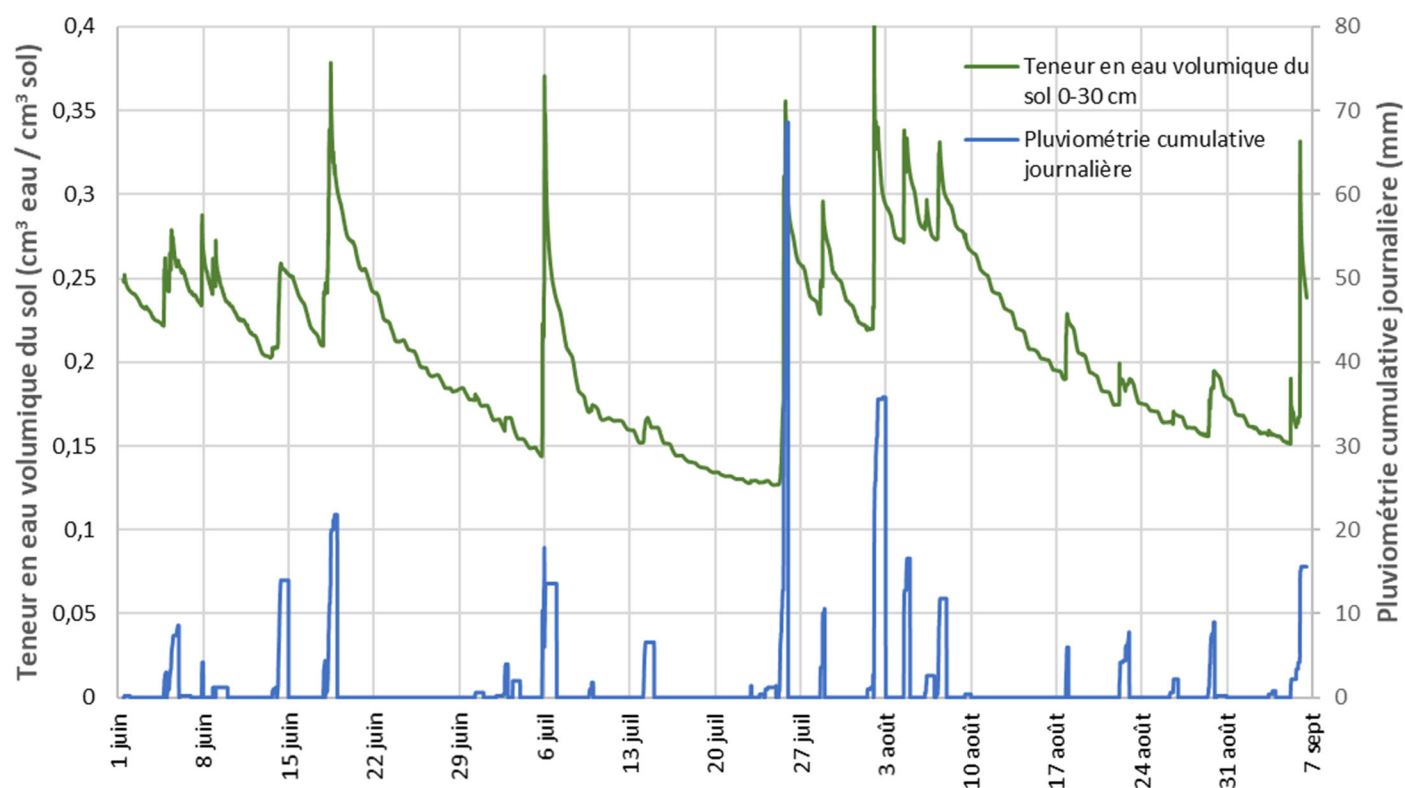


Figure 4. Chronique de la teneur en eau volumique du sol ($\text{cm}^3 \text{ eau} / \text{cm}^3 \text{ sol}$) et de la pluviométrie cumulative journalière (mm) au site de Métabetchouan, 2018.

Quotidiennement, la teneur en eau volumique du sol a été suivie et cela a permis d'estimer la quantité d'eau prélevée par la culture et dans certains cas, celle évaporée du sol (telle que décrit dans la section Coefficients culturaux [K_c] de la méthodologie). Les prélèvements ont été exprimés sous forme de hauteur d'eau et sont présentés de la Figure 5 à la Figure 20. Le nombre de parcelles ayant servi aux estimations des prélèvements en variable selon les caractéristiques. Autrement dit, l' ET_c quotidienne estimée par TDR pour les traitements avec paillis de plastique sont une moyenne de 6 parcelles tandis que les traitements sans paillis sont une moyenne de 4 parcelles. Puisque le paillis de type pépinière ne concernait qu'un seul traitement, l'estimation du prélèvement pour ce dernier a été abandonnée. L'estimation de l' ET_c pour traitements irrigués ont regroupé les mesures de 7 parcelles et les traitements non irrigués ont rassemblé les mesures de 4 parcelles. Le prélèvement maximal estimé par les sondes TDR a atteint une valeur d'environ 2,5 mm, peu importe l'année, le site ou les caractéristiques culturales. Les valeurs typiques se situent plutôt entre 0,5 et 1,5 mm par jour. À partir des courbes présentées de la Figure 5 à la Figure 20, le prélèvement maximal a été estimé à une date qui se situe tout près de la date de récolte. Dès le début de mai, les prélèvements peuvent être assez importants. Dans plusieurs cas, les prélèvements estimés en juin ont été particulièrement élevés. Les prélèvements estimés pour les parcelles sans paillis ont globalement été plus élevés que celles avec un paillis. Dans ce cas précis, l'évaporation de l'eau à la surface du sol est certainement une perte en eau plus importante que l'augmentation de la transpiration occasionnée par une augmentation de la température de sol liée à l'utilisation d'un paillis (paillis de plastique noir et paillis de pépinière noir). Le paillis de plastique noir semble donc être une stratégie de conservation de l'eau du sol efficace.

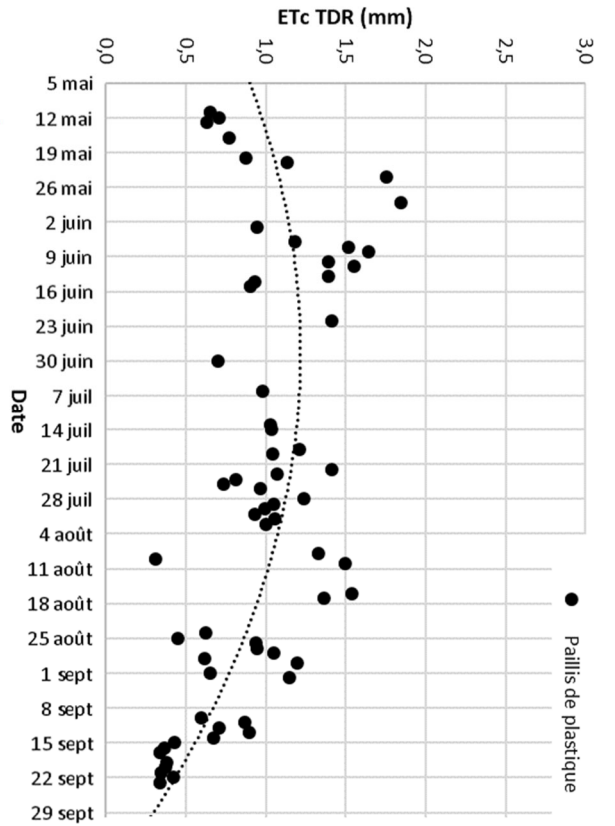


Figure 6. Évapotranspiration de la culture (ET_c) quotidienne (mm) estimée par TDR pour les traitements avec paillis de plastique, Saint-Anselme, 2017.

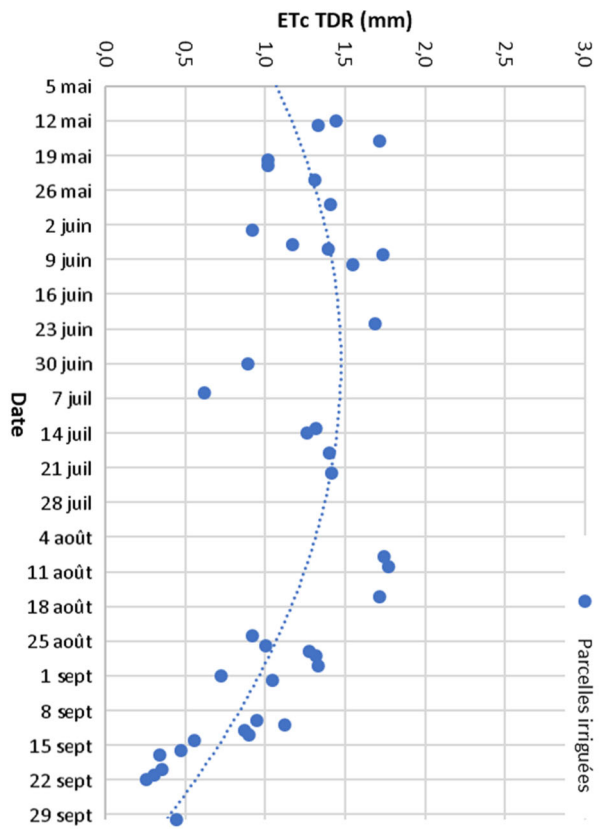


Figure 8. Évapotranspiration de la culture (ET_c) quotidienne (mm) estimée par TDR pour les traitements avec irrigation, Saint-Anselme, 2017.

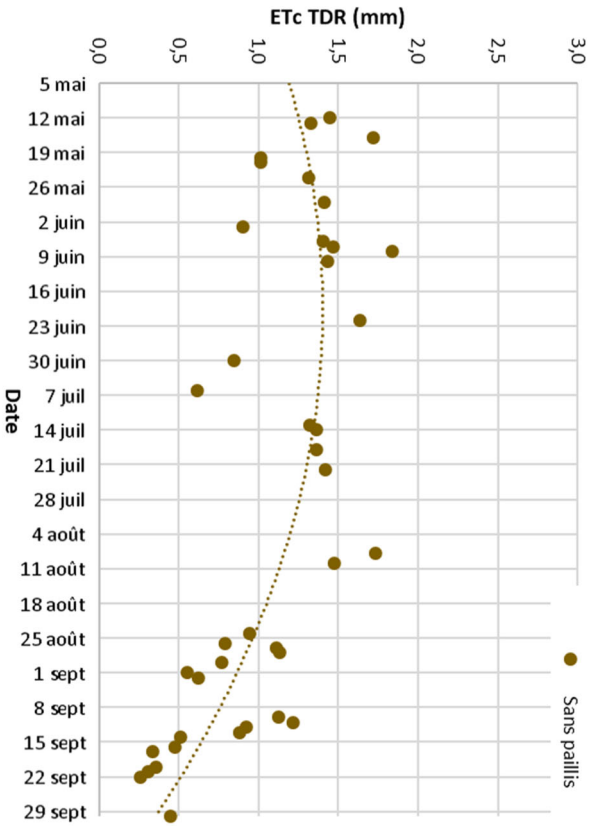


Figure 5. Évapotranspiration de la culture (ET_c) quotidienne (mm) estimée par TDR pour les traitements sans paillis, Saint-Anselme, 2017.

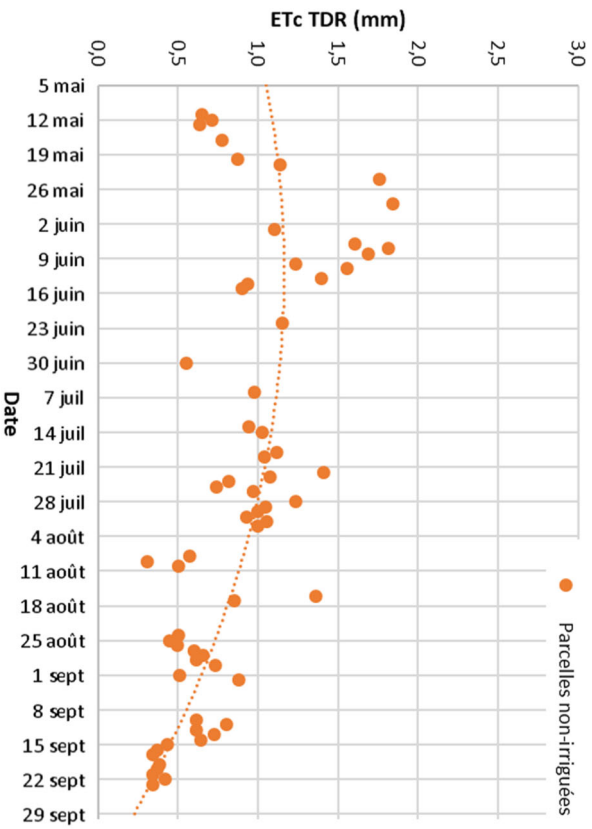


Figure 7. Évapotranspiration de la culture (ET_c) quotidienne (mm) estimée par TDR pour les traitements sans irrigation, Saint-Anselme, 2017.

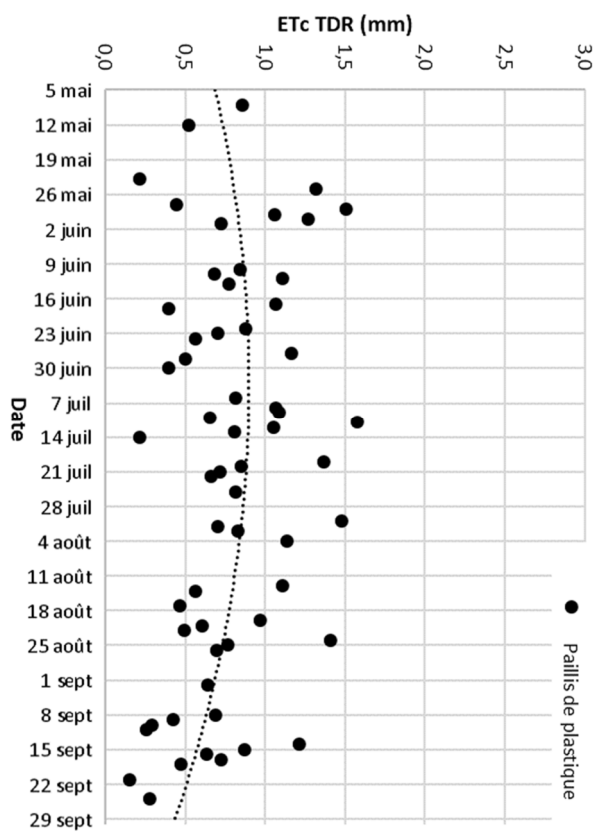


Figure 10. Évapotranspiration de la culture (ET_c) quotidienne (mm) estimée par TDR pour les traitements avec paillis de plastique, Saint-Anselme, 2018.

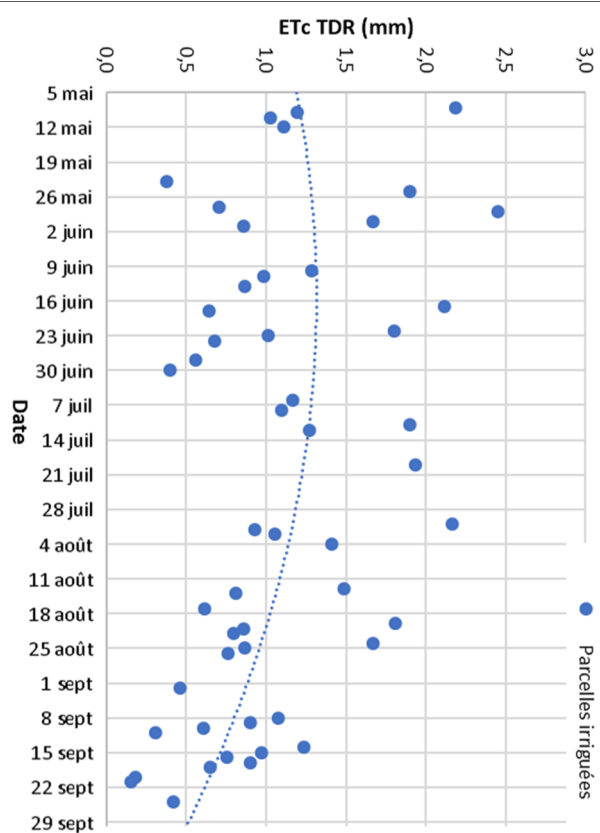


Figure 12. Évapotranspiration de la culture (ET_c) quotidienne (mm) estimée par TDR pour les traitements avec irrigation, Saint-Anselme, 2018.

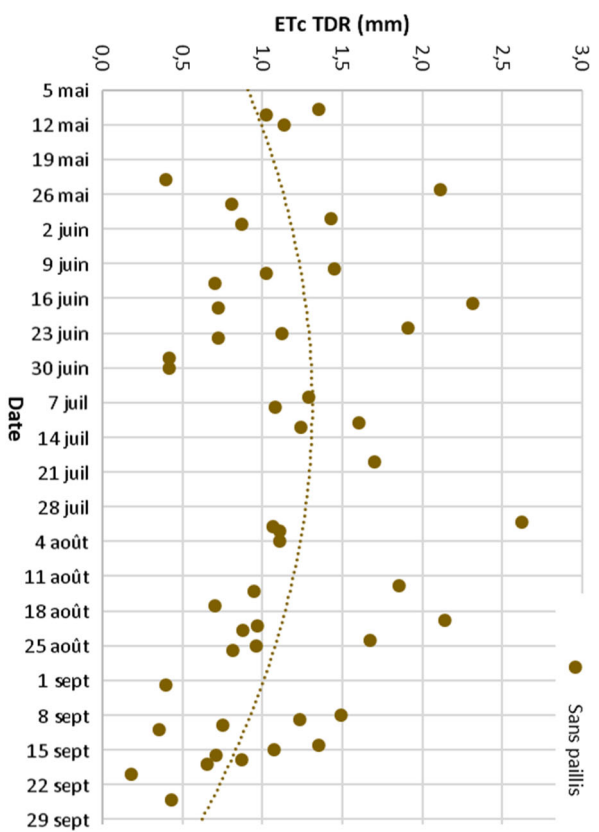


Figure 9. Évapotranspiration de la culture (ET_c) quotidienne (mm) estimée par TDR pour les traitements sans paillis, Saint-Anselme, 2018.

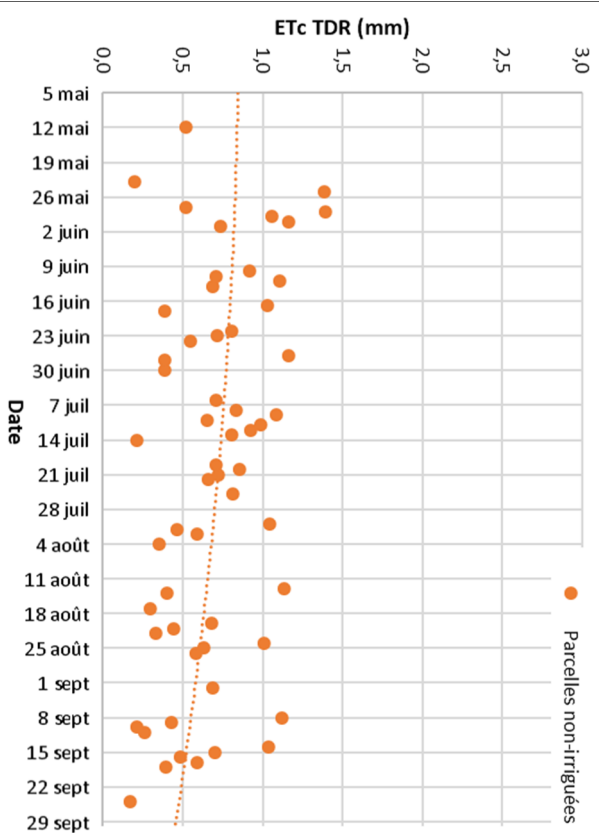


Figure 11. Évapotranspiration de la culture (ET_c) quotidienne (mm) estimée par TDR pour les traitements sans irrigation, Saint-Anselme, 2018.

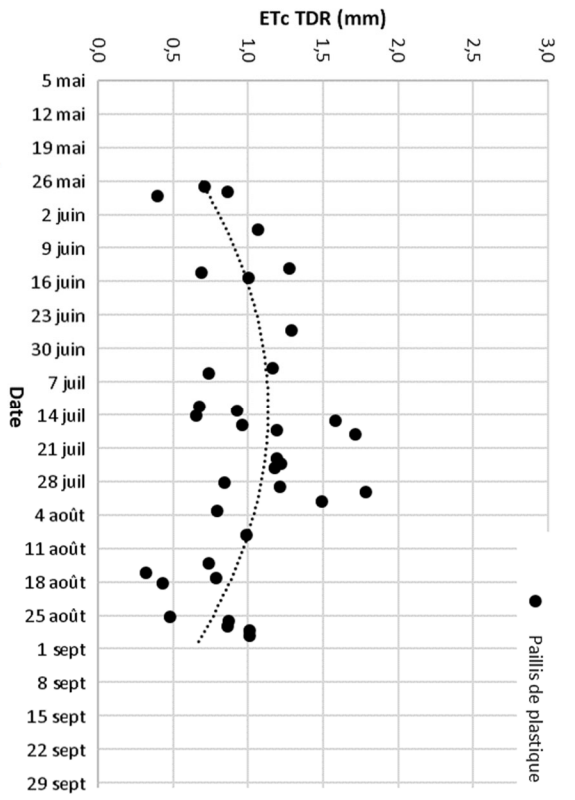


Figure 14. Évapotranspiration de la culture (ET_c) quotidienne (mm) estimée par TDR pour les traitements avec pailis de plastique, Saint-Nazaire, 2017.

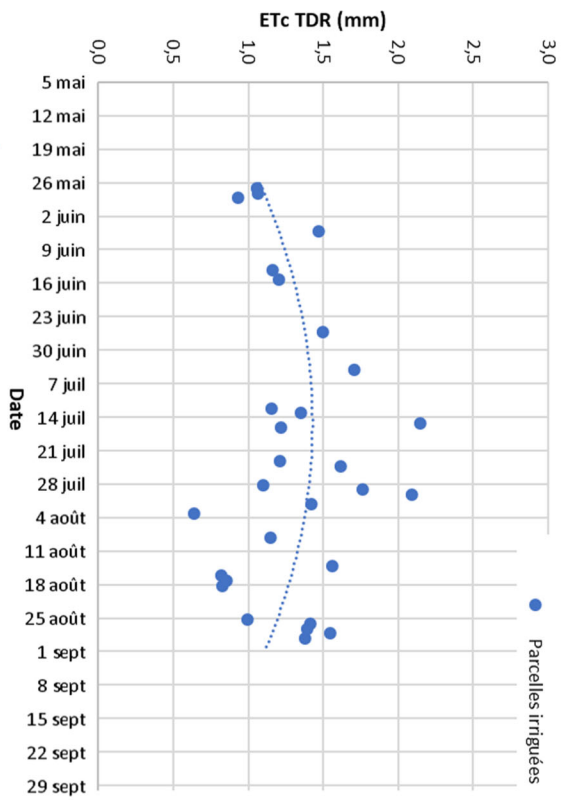


Figure 16. Évapotranspiration de la culture (ET_c) quotidienne (mm) estimée par TDR pour les traitements avec irrigation, Saint-Nazaire, 2017.

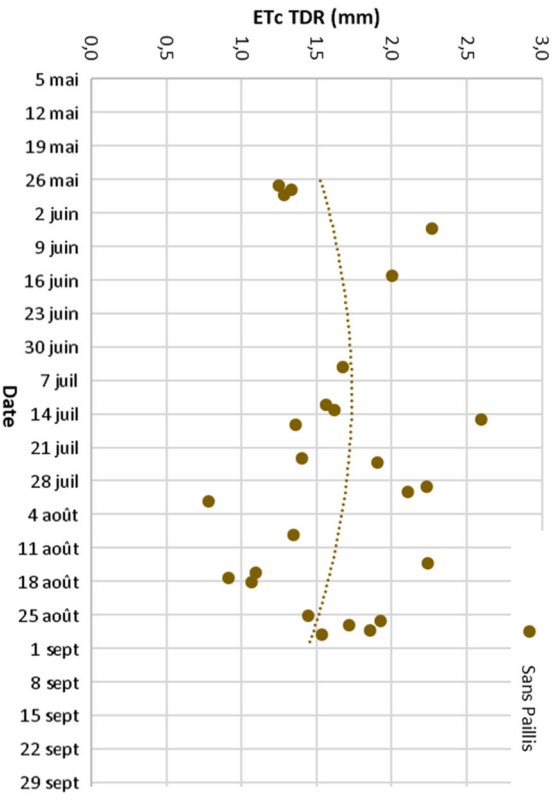


Figure 13. Évapotranspiration de la culture (ET_c) quotidienne (mm) estimée par TDR pour les traitements sans pailis, Saint-Nazaire, 2017.

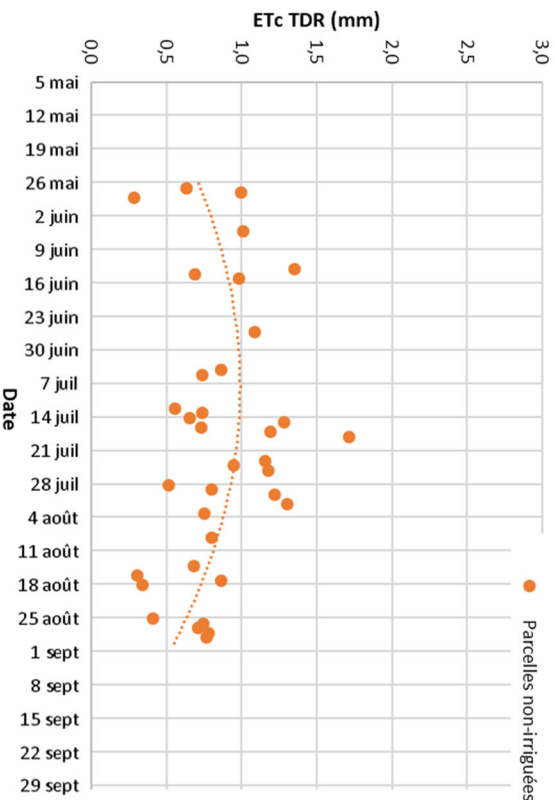


Figure 15. Évapotranspiration de la culture (ET_c) quotidienne (mm) estimée par TDR pour les traitements sans irrigation, Saint-Nazaire, 2017.

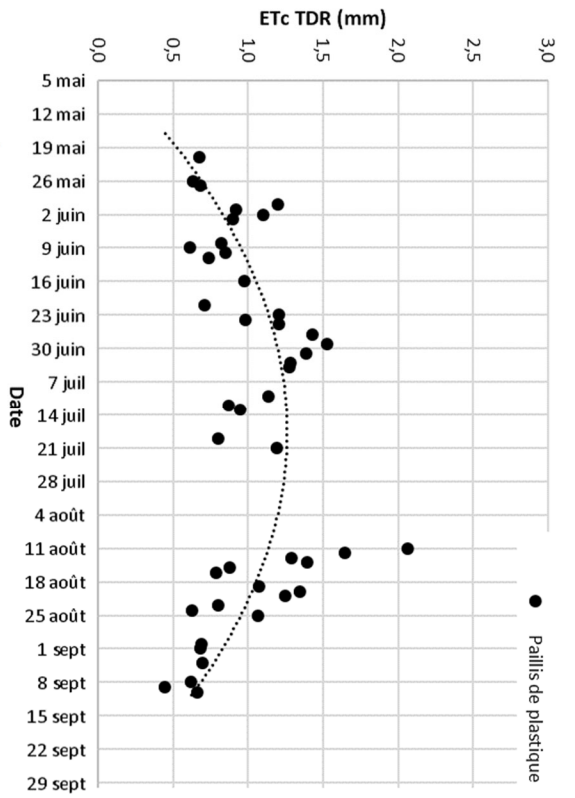


Figure 18. Évapotranspiration de la culture (ET_c) quotidienne (mm) estimée par TDR pour les traitements avec pailis de plastique, Saint-Nazaire, 2018.

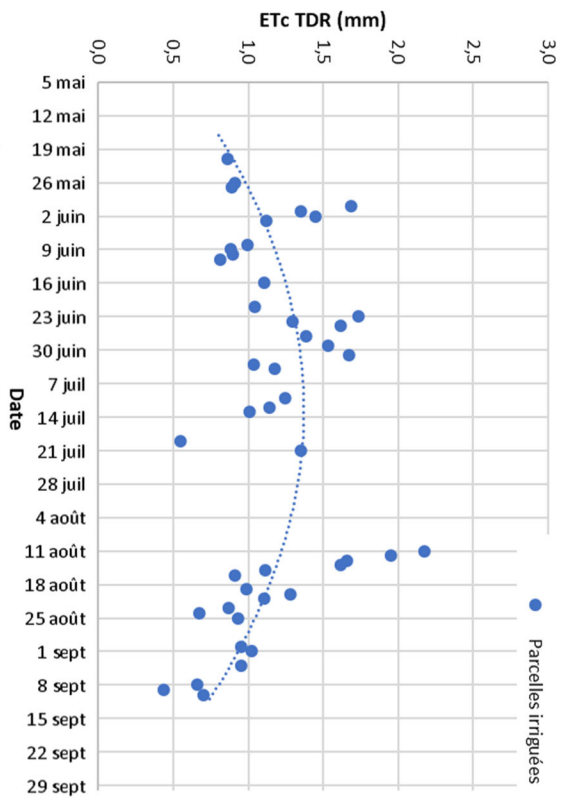


Figure 20. Évapotranspiration de la culture (ET_c) quotidienne (mm) estimée par TDR pour les traitements avec irrigation, Saint-Nazaire, 2018.

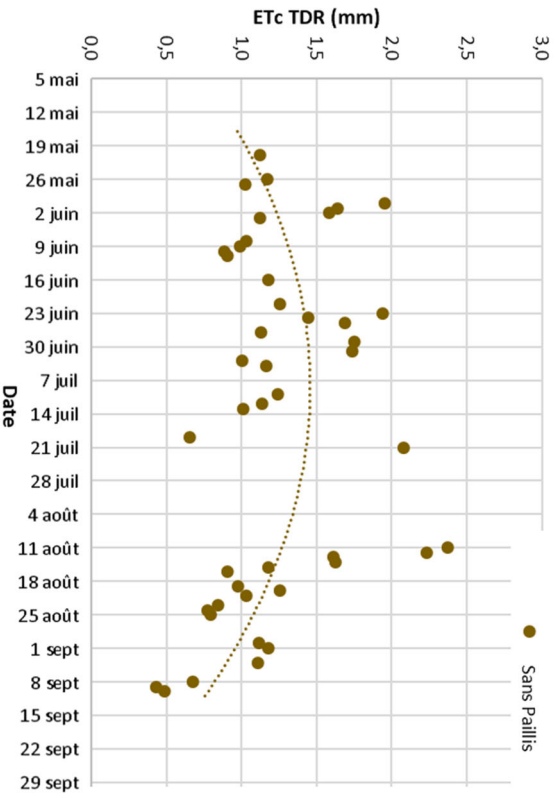


Figure 17. Évapotranspiration de la culture (ET_c) quotidienne (mm) estimée par TDR pour les traitements sans pailis, Saint-Nazaire, 2018.

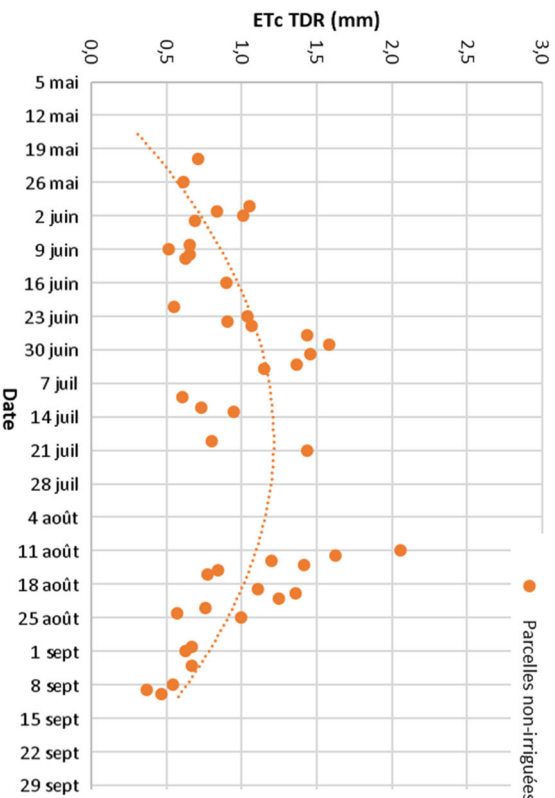


Figure 19. Évapotranspiration de la culture (ET_c) quotidienne (mm) estimée par TDR pour les traitements sans irrigation, Saint-Nazaire, 2018.

Toujours en excluant les journées où il y a eu un apport en eau, le prélèvement quotidien moyen des parcelles avec et sans pailis a été additionné à des fins comparatives et est présenté au Tableau 10 selon le cultivar et la saison.

Ainsi, en 2017 le prélèvement moyen total (34 jours) du Indigo Gem a été de 29,4 mm avec un paillis et de 50,2 mm sans paillis. Cette différence met en lumière la perte par évaporation de l'eau à la surface du sol en contexte de sol nu. Le paillis est une bonne pratique de conservation de l'eau.

Tableau 10. Évapotranspiration de la culture quotidienne cumulative estimée, avec et sans paillis selon le cultivar, la saison et le nombre de jours.

Cultivar	Saison	Nb jours considérés	Évapotranspiration de la culture totale pour le nb de jours (mm)		Écart	
			Paillis plastique	Sol nu	mm	%
Tundra	2017	41	37,2	40,4	3,2	8
	2018	45	35,0	50,7	15,8	31
Indigo Gem	2017	34	29,4	50,2	20,8	41
	2018	43	43,4	53,5	10,0	19

Prélèvements lors de périodes prolongées sans précipitations

Quotidiennement, la valeur d' ET_p a été comparée au prélèvement en eau des plants qui a été estimé avec une sonde TDR. Cet exercice est utile pour repérer si la culture a été contrainte dans son prélèvement en eau. Habituellement, lorsque l' ET_p augmente, le prélèvement en eau de la culture augmente et quand l' ET_p diminue, le prélèvement diminue aussi. À l'échelle d'une journée ou d'une période plus longue, lorsque le prélèvement ne suit pas la même tendance que la demande en ET_p , il est alors probable que la culture a été contrainte à réduire le volume d'eau prélevé. L'exercice a alors été mené sur l'ensemble des sites pour déterminer les périodes qui ont été propices à un stress hydrique. La période comprise entre le 17 et le 21 juillet 2018 aux sites 1 et 2 de Métabetchouan est présentée aux Figure 21 et Figure 22. Durant cette période le prélèvement en eau estimé par TDR ne suit pas la demande en ET_p . Le prélèvement a constamment diminué passant de 1,8 mm à 0,6 mm/jour alors que, pour la même période, la demande en ET_p a plutôt été en croissance. À ce moment, il est probable que le statut hydrique du sol a été favorable à ce que le plant subisse un stress hydrique. Il est toutefois possible que d'autres zones du système racinaire, hors portée de la TDR, ont pu prélever de l'eau et ainsi subvenir aux besoins du plant.

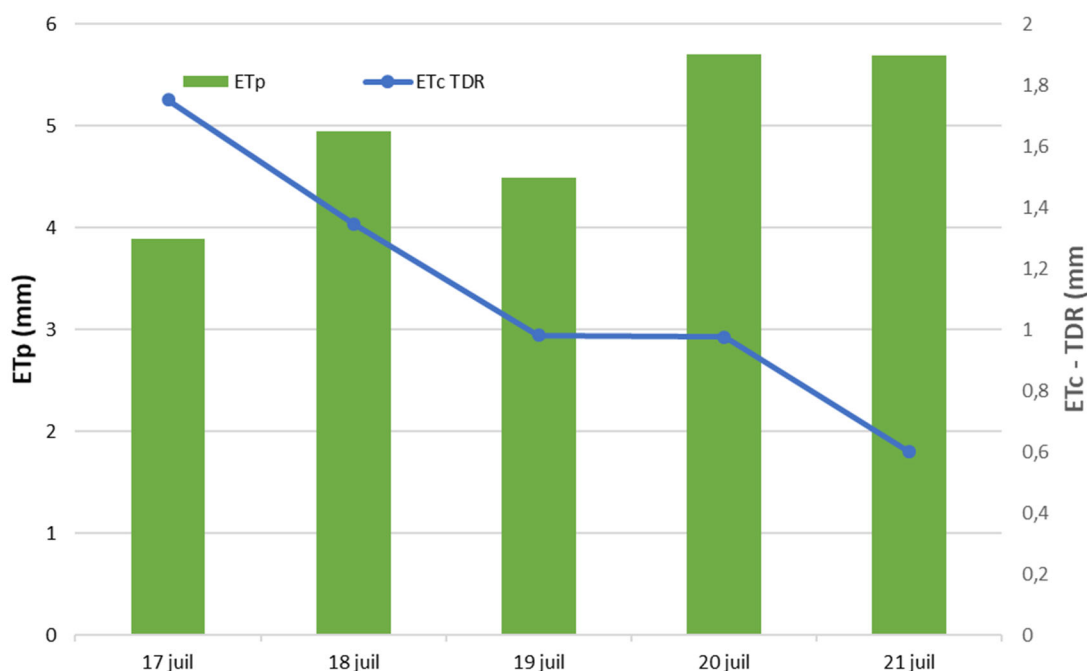


Figure 21. Évapotranspiration potentielle (mm) (ET_p) et prélèvement en eau quotidiennement de la culture estimée avec une TDR (mm) (ET_c -TDR) pour la période du 17 juillet au 21 juillet, Métabetchouan 1, 2018.

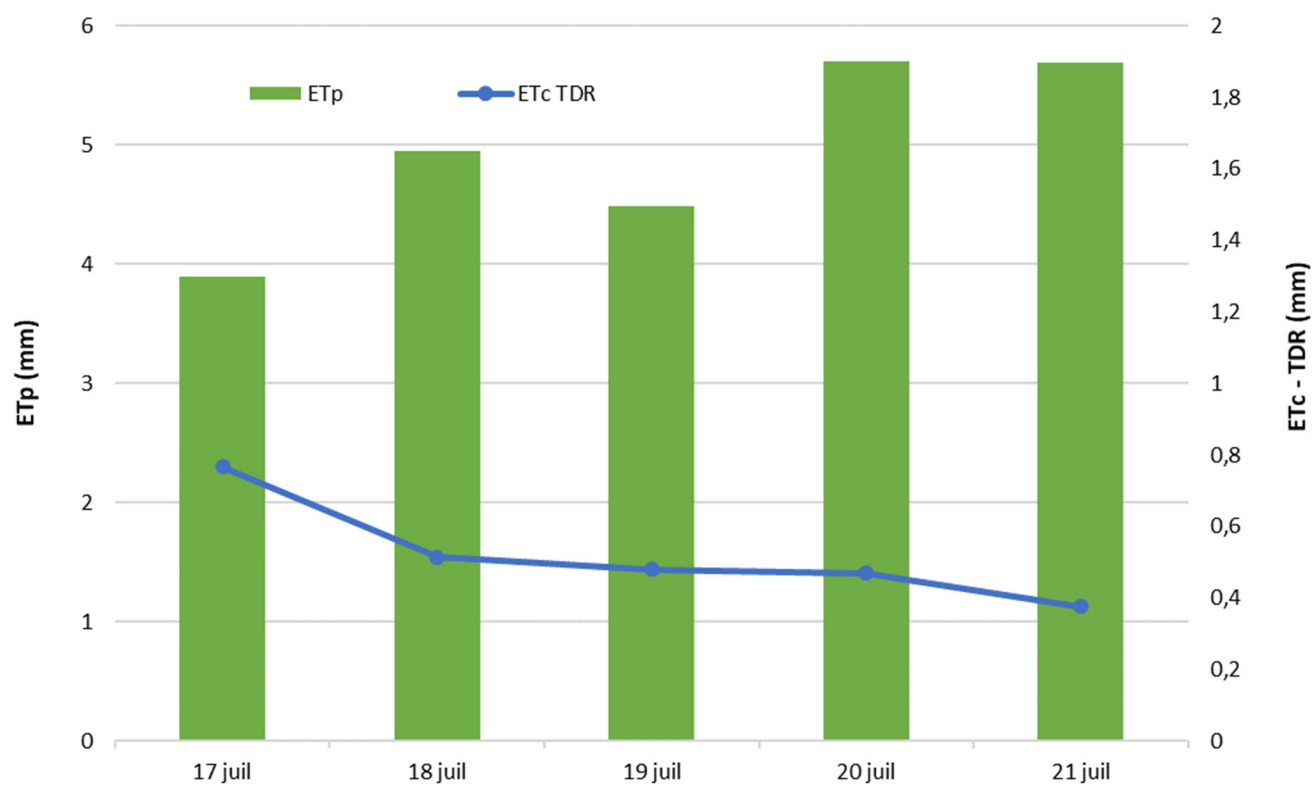


Figure 22. Évapotranspiration potentielle (mm) et prélèvement en eau quotidiennement de la culture estimée avec une TDR (mm) pour la période du 17 juillet au 21 juillet, Métabetchouan 2, 2018.

Coefficients cultureux

Pour deux périodes, soit entre le 5 mai et le 14 juillet et entre le 15 juillet et le 15 septembre (périodes avant et après la récolte des fruits) et pour chaque site, les valeurs quotidiennes d'évapotranspiration de la culture (ET_{c-TDR}) ont été mises en relation avec l' ET_p (telle que décrit dans la section Coefficients cultureux [K_c] de la méthodologie). Le rapport entre ces deux variables a été utilisé pour estimer un K_c selon la présence ou non de paillis et d'irrigation, deux facteurs qui peuvent fortement influencer le prélèvement en eau et les pertes par évaporation. Ces coefficients sont présentés selon l'année, le site et les facteurs. Il est à noter que le K_c obtenu ne considère pas les entre-rangs et ne pourrait donc pas être utilisé pour évaluer les besoins en eau (volume d'eau) d'un verger avec les mesures de l'évapotranspiration potentielle.

Tableau 11. Coefficients cultureux (K_c) mesurés selon les facteurs déterminants, les périodes de la saison et l'année au site de Saint-Anselme.

Année	Période	Facteur				
		Paillis de plastique	Sans paillis	Paillis de pépinière	Avec irrigation	Sans irrigation
2017	5 mai au 14 juillet	0,25	0,28	0,32	0,28	0,23
	15 juillet au 15 septembre	0,27	0,34	0,44	0,37	0,23
	<i>Moyenne saison</i>	<i>0,26</i>	<i>0,31</i>	<i>0,40</i>	<i>0,33</i>	<i>0,23</i>
2018	5 mai au 14 juillet	0,19	0,29	0,30	0,28	0,18
	15 juillet au 15 septembre	0,24	0,36	0,19	0,32	0,20
	<i>Moyenne saison</i>	<i>0,22</i>	<i>0,33</i>	<i>0,25</i>	<i>0,30</i>	<i>0,19</i>

Tableau 12. Coefficients cultureux (K_c) mesurés selon les facteurs déterminants, les périodes de la saison et l'année au site de Saint-Nazaire.

Année	Période	Facteur				
		Paillis de plastique	Sans paillis	Paillis de pépinière	Avec irrigation	Sans irrigation
2017	5 mai au 14 juillet	0,19	0,39	0,19	0,30	0,17
	15 juillet au 15 septembre	0,27	0,45	0,26	0,37	0,23
	<i>Moyenne saison</i>	<i>0,24</i>	<i>0,43</i>	<i>0,24</i>	<i>0,35</i>	<i>0,21</i>
2018	5 mai au 14 juillet	0,19	0,24	0,19	0,23	0,18
	15 juillet au 15 septembre	0,25	0,30	0,29	0,28	0,24
	<i>Moyenne saison</i>	<i>0,22</i>	<i>0,27</i>	<i>0,24</i>	<i>0,25</i>	<i>0,21</i>

Rendements en fruits

Les rendements en fruits pour 2017 et 2018 sont présentés de la Figure 23 à la Figure 27. Il n'y a pas de différences significatives ($p \leq 0,1$) des traitements pour le rendement en fruits, ni en 2017, ni en 2018. Les bourgeons floraux étant initiés l'année précédant celle de la floraison, la probabilité d'observer des différences significatives sur le rendement aurait été plus forte en 2018. Malgré tout, l'analyse statistique n'a pas permis de mesurer de différence entre les traitements.

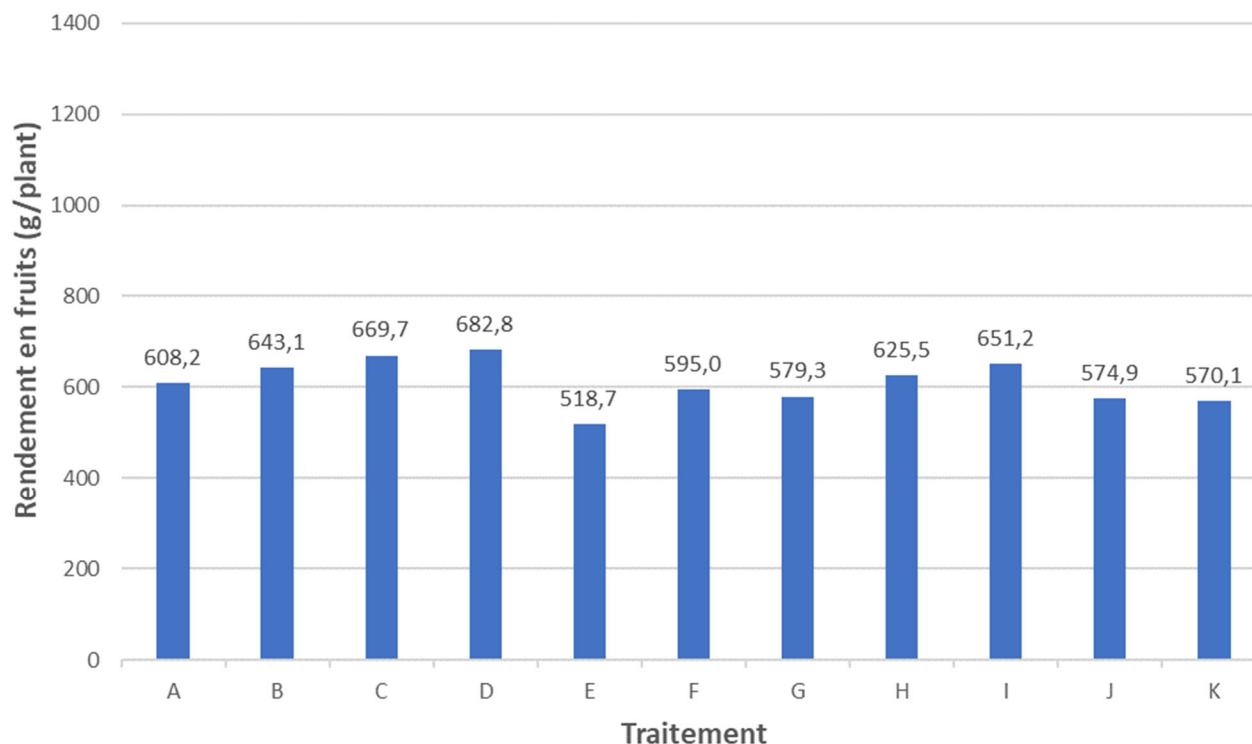


Figure 23. Rendement en fruits (g/plant) selon les traitements, site Saint-Anselme en 2017.

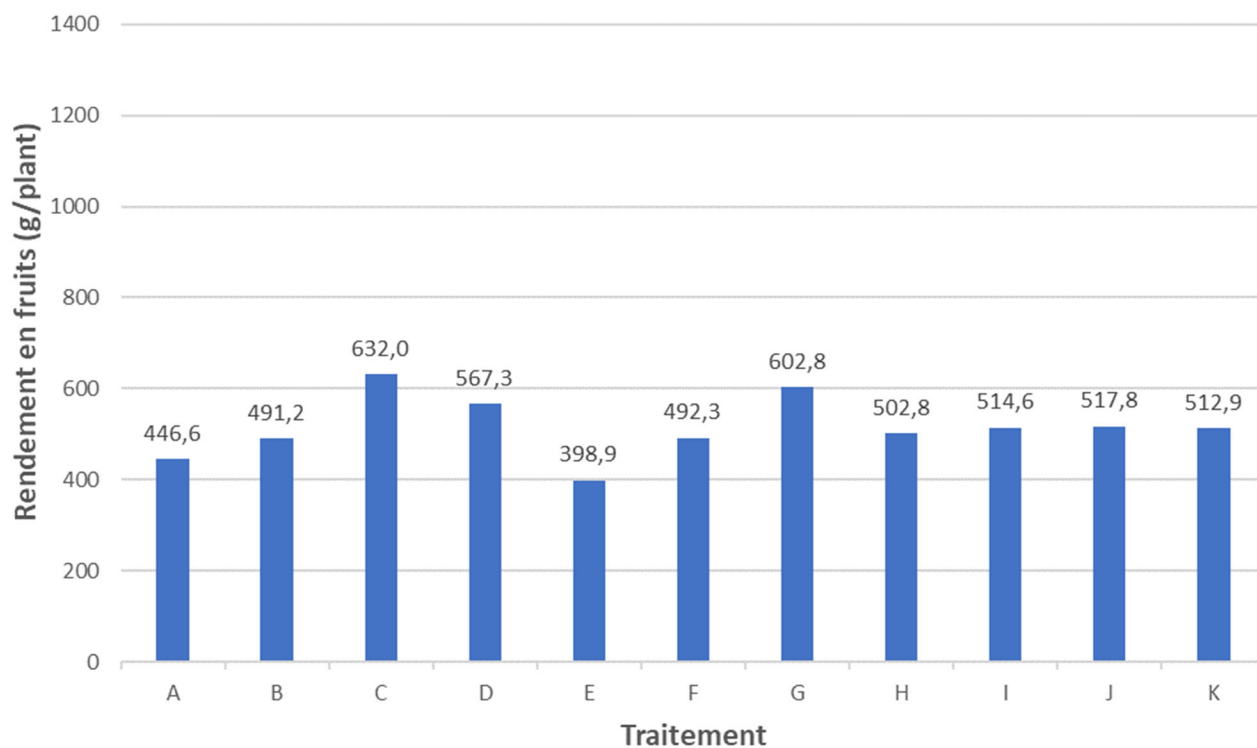


Figure 24. Rendement en fruits (g/plant) selon les traitements, site Saint-Nazaire en 2017.

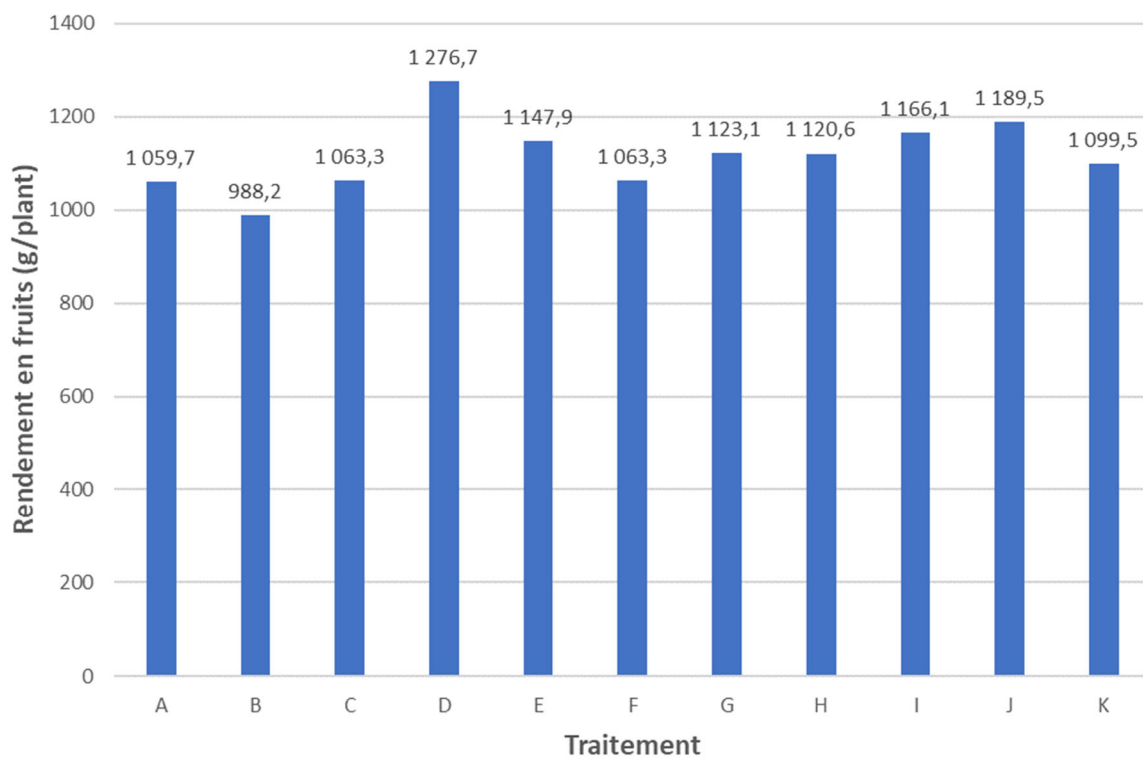


Figure 25. Rendement en fruits (g/plant) selon les traitements, site Saint-Anselme en 2018.

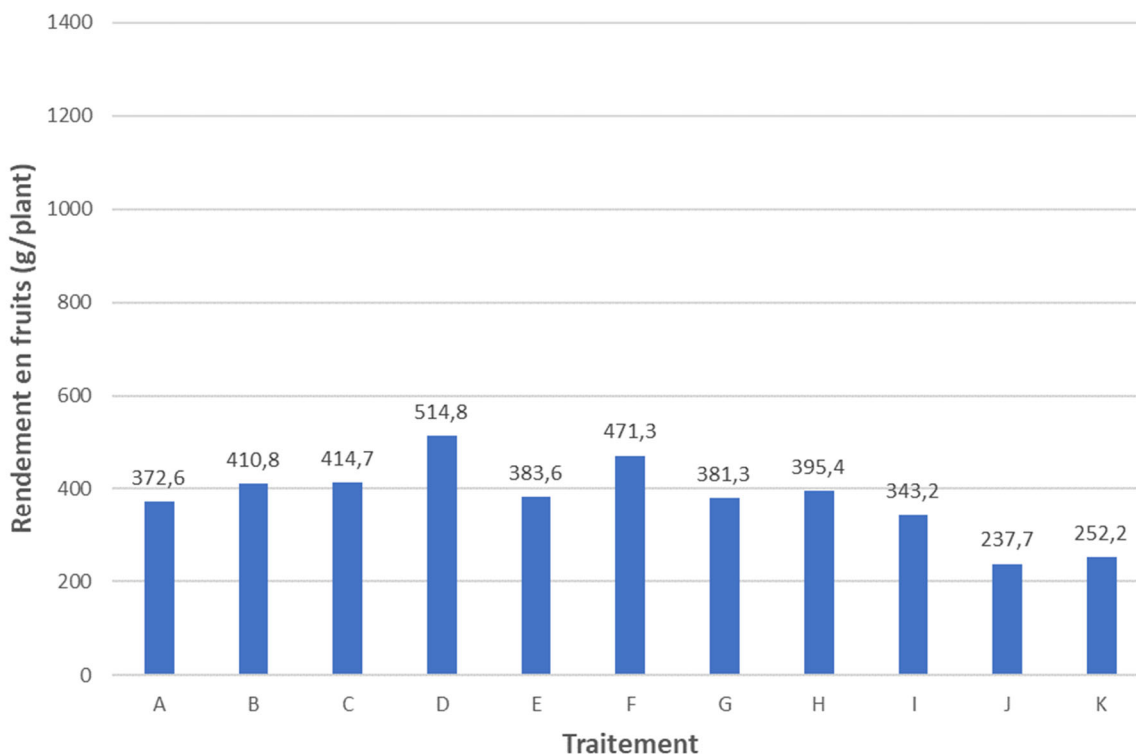


Figure 26. Rendement en fruits (g/plant) selon les traitements, site Saint-Nazaire en 2018.

Calibre des fruits

Le calibre des fruits a été mesuré annuellement pour chaque site. Le poids moyen par fruit à Saint-Anselme en 2017 est présenté à la Figure 27. Il s'agit en fait du seul site et de la seule année où une différence significative sur le calibre des fruits a été mesurée. Le traitement E (SPP, PGI, F) est le traitement ayant obtenu le poids moyen par fruit le plus élevé à 1,18 g/fruit, mais il n'est pas significativement différent de B, D, E, H, I et J. En analysant séparément le calibre des fruits de chaque traitement, il a été possible de constater que parmi les traitements ayant obtenu le calibre le plus faible, 3 sur 4 n'ont pas été irrigués.

L'analyse des contrastes ayant trait au type de fertilisation (cv : granulaire conventionnel, elc : granulaire à libération contrôlée, f : fertigation et nf : non fertilisé) a été réalisée sur le poids moyen des fruits en 2017 au site de Saint-Anselme (Figure 28). Il est ainsi possible de constater les différences significatives sur le poids moyen des fruits entre les types de fertilisation. Les traitements qui ont été fertigués démontrent un poids moyen le plus élevé avec 1,14 g par fruit. Les traitements non fertilisés ont, quant à eux, obtenu la valeur la plus faible et significativement différente (au seuil de $p < 0,1$) des traitements fertigués et fertilisés avec de l'engrais granulaire conventionnel.

À la lumière de ces observations, il est possible de croire que l'irrigation et la fertilisation peuvent avoir un rôle déterminant sur le calibre des fruits. Malheureusement, cette observation n'a pas été validée en 2017 au site de Saint-Nazaire où il n'y a pas de différence significative ($p = 0,56$).

En 2018, le poids moyen des fruits tant à Saint-Anselme qu'à Saint-Nazaire n'a pas été significativement différent entre les traitements. Néanmoins, une tendance a été observée pour les 2 sites ($p = 0,1346$ à Saint-Nazaire et $p = 0,1462$ à Saint-Anselme). Les tendances observées pour chacun des sites démontrent qu'il existe possiblement un lien entre le système cultural et le calibre des fruits.

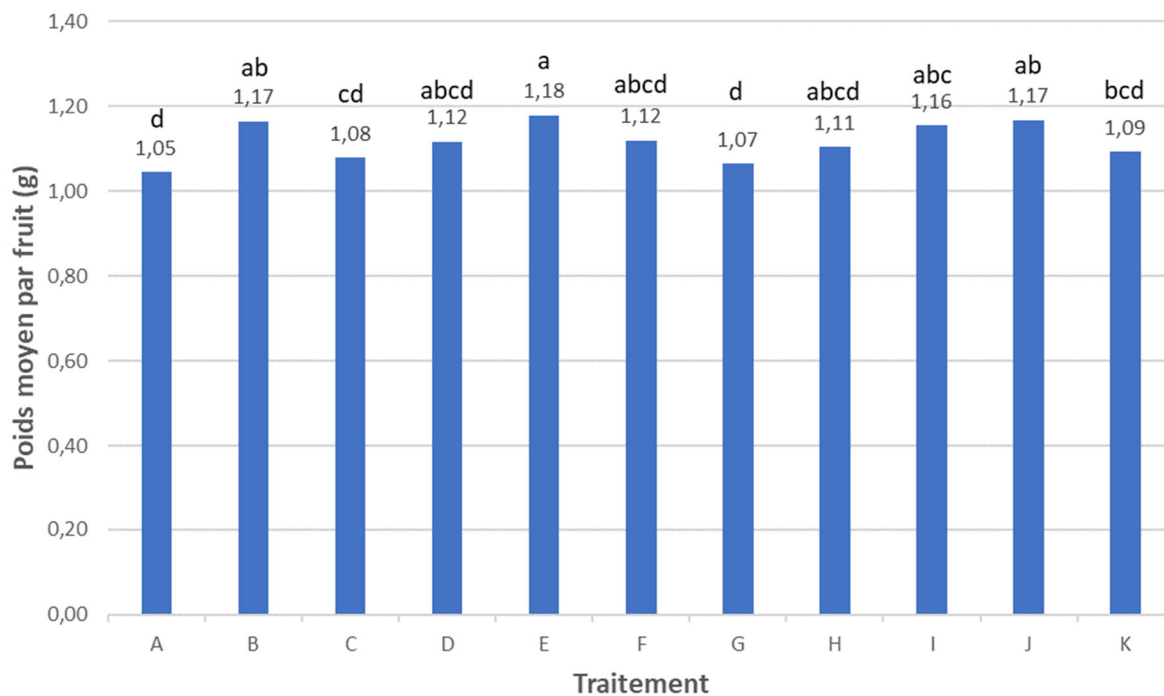


Figure 27. Poids moyen par fruit (g) selon les traitements, site Saint-Anselme en 2017, différences statistiquement significatives à $p \leq 0,1$

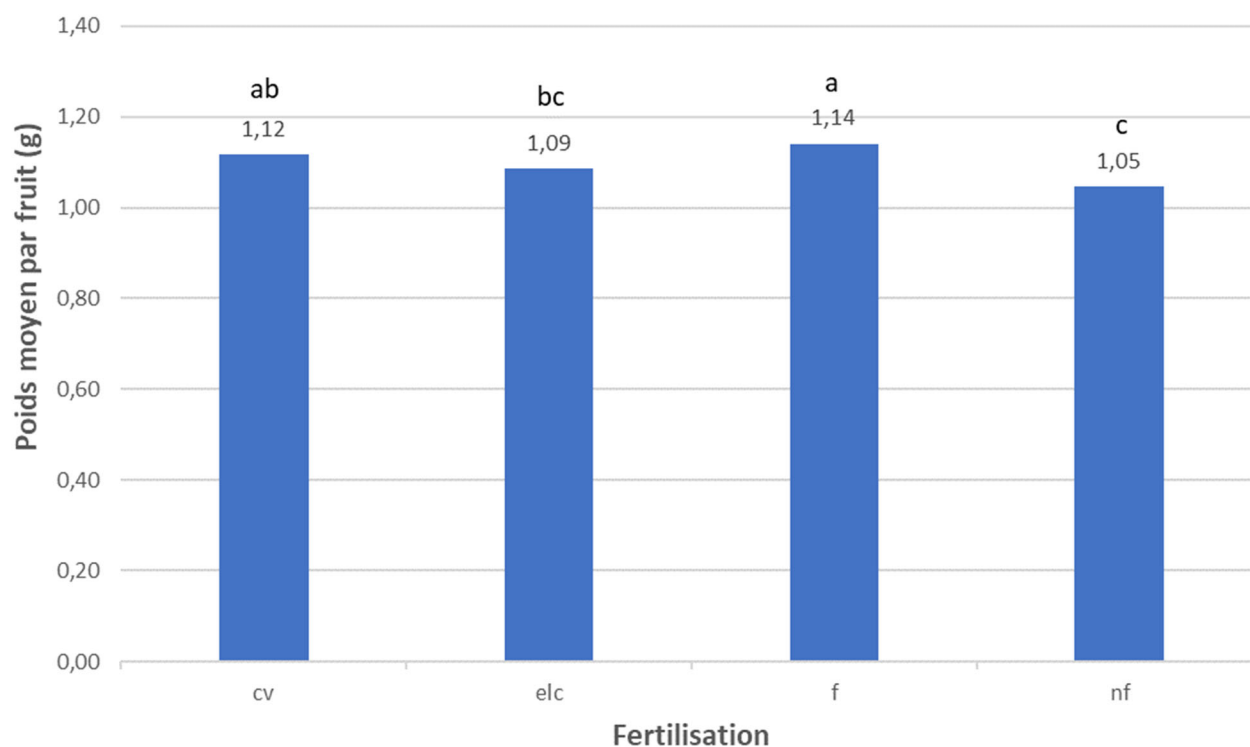


Figure 28. Poids moyen par fruit (g) selon le type de fertilisation, site Saint-Anselme en 2017, différences statistiquement significatives à $p \leq 0,1$.

Statut nutritionnel des feuilles

L'analyse des éléments majeurs et du sodium (Na) sont présentés au Tableau 13. Annuellement, pour chaque site il n'y a pas de différences significatives ($p \leq 0,1$) du statut nutritionnel des feuilles entre les traitements. C'est pourquoi les résultats des analyses ont été comptabilisés globalement (tous traitements confondus).

L'analyse de la concentration foliaire en éléments minéraux majeurs et en sodium a également permis de comparer ces valeurs aux concentrations cibles présentées dans la littérature (Tableau 13). Ces valeurs cibles ont été déterminées en Nouvelle-Écosse pour le cultivar Indigo Gem. En comparant les valeurs mesurées avec les valeurs cibles, il est possible de constater que l'azote (N) et le phosphore (P) se situaient sous les limites inférieures cibles pour chaque site et chaque année. Par contre, les concentrations foliaires en éléments nutritifs mesurés se situaient dans l'intervalle idéal pour le potassium (K) et le magnésium (Mg). Le calcium (Ca) était le seul élément qui figurait au-dessus de la limite supérieure prescrite en 2017 seulement. Les cultivars Indigo Gem et Tundra prélèvent les éléments minéraux de manière similaire avec des concentrations foliaires pour le N, K et Mg similaires entre eux. Toutefois, les concentrations foliaires (notamment en P et Ca) peuvent être significativement différentes (Iheshiulo, 2018). Selon ces informations, l'azote aurait été sous la limite inférieure des valeurs cibles pour les deux cultivars (sites Saint-Nazaire et Saint-Anselme).

Tableau 13. Niveaux de concentration foliaires en éléments nutritifs (tous traitements confondus).

Année	Site	Élément majeur (%)				Élément mineur (ppm)	
		N	P	K	Ca	Mg	Na
2017	Saint-Anselme	1,90	0,17	1,31	2,35	0,14	7,40
	Saint-Nazaire	1,85	0,12	1,17	2,42	0,20	14,30
2018	Saint-Anselme	2,04	0,15	1,07	2,06	0,15	0,47
	Saint-Nazaire	2,01	0,12	1,18	1,67	0,18	7,20
Valeurs cibles*		2,23 à 2,96	0,22 à 0,28	0,84 à 1,32	1,64 à 2,10	0,14 à 0,5	-

* Tirées de (Iheshiulo, 2018)

Croissance végétative

La croissance végétative des plants a été mesurée durant les deux années de l'essai. Les résultats sont présentés au Tableau 14. Il n'y a pas eu de différence significative pour la croissance annuelle des tiges selon les traitements, peu importe l'année considérée. La croissance annuelle mesurée a été très constante d'une année à l'autre selon le site. Par contre, la croissance mesurée entre les sites est clairement différente. En fait, la croissance annuelle moyenne mesurée au site de Saint-Anselme avec le cultivar Tundra est plus de 3 fois supérieure à celle mesurée à Saint-Nazaire avec le cultivar Indigo Gem.

Tableau 14. Croissance annuelle moyenne (cm) selon les sites et l'année (tous traitements confondus).

Année	Site	Croissance annuelle (cm)
2017	Saint-Anselme	25,0
	Saint-Nazaire	6,7
2018	Saint-Anselme	24,7
	Saint-Nazaire	7,7

Bien que le verger situé à Saint-Nazaire soit plus âgé de 2 ans et que le cultivar ne soit pas le même, il est difficile, pour l'instant, d'expliquer de telles différences.

Évaluation des coûts

Les stratégies culturales mises en place dans le projet avaient comme objectif de favoriser le prélèvement en eau et en éléments nutritifs. L'adoption d'un système cultural donnée engendre des frais spécifiques pour l'entreprise. À cet effet, une analyse économique partielle a été effectuée pour évaluer les coûts des différents traitements comparés (Tableau 15 et

Tableau 16). Il ne s'agit pas d'un budget complet. Pour réaliser une analyse économique exhaustive, d'autres paramètres, propres à chaque entreprise, devraient être considérés.

L'ensemble des charges présentées réfèrent aux systèmes culturaux élaborés dans le cadre des essais (type de fertilisation, choix d'un paillis et type de système d'irrigation). Ces choix se sont basés sur des critères agronomiques, économiques et environnements plausibles pour la culture de la camerise. Présentement, il existe plusieurs systèmes de production dans les vergers de camerisiers (espacement en les rangs) selon le moyen de récolte fruits (récolte mécanisée, récolte avec aide-récolteuse, autocueillette). La densité de plantation à l'hectare retenue pour l'étude est de 2100 plants. Le prix du système d'irrigation représente le coût d'acquisition du matériel au champ. Il n'inclut pas les frais reliés aux conduites principales, à la filtration de l'eau, à l'unité de pompage ainsi que les frais reliés à l'installation du système.

Tableau 15. Liste des articles considérés pour l'analyse des coûts relatifs aux traitements comparés dans le projet.

Articles	Coût à l'hectare (\$)	Coût par plant (\$)
Engrais (frais annuels selon la dose du projet)		
Engrais à libération contrôlé	314,69	0,15
Engrais minéral conventionnel	54,18	0,03
Engrais fertigation	214,55	0,10
Paillis		
Paillis de plastique	776,25	0,37
Paillis de pépinière	2526,25	1,20
Irrigation		
Goutte-à-goutte	1446,85	0,69
-Accessoires gouttes à gouttes	53,20	0,03
Piquets goutteurs (2 par plant)	714,00	0,34
-Tuyau alimentation (dans le champ)	1836,35	0,87
-Goutteurs	1638,00	0,78
-Microtube	647,14	0,31
Piquets arroseurs (1 par plant)	693,00	0,33
-Tuyau alimentation (dans le champ)	3996,06	1,90
-Goutteurs	735,00	0,35
-Microtube	323,57	0,15
-Accessoires piquets arroseurs	336,00	0,16

Tableau 16. Coûts à l'hectare ou par plant (\$) des traitements à l'étude.

Id.	Traitement			Coût	
	Paillis	Système d'irrigation	Fertilisation	\$/ha	\$/plant
A	Plastique	Non irrigué	Non fertilisé	776	0,37
B	Plastique	Non irrigué	Fertigation	991	0,47
C	Plastique	Non irrigué	Engrais libération contrôlée	1091	0,52
D	Plastique	Piquets goutteurs	Fertigation	5826	2,77
E	Aucun	Piquets arroseurs	Fertigation	6298	3,00
F	Plastique	Goutte-à-goutte	Fertigation	2438	1,16
G	Plastique	Non irrigué	Engrais conventionnel	830	0,40
H	Type pépinière	Goutte-à-goutte	Fertigation	4188	1,99
I	Aucun	Goutte-à-goutte	Fertigation	1661	0,79
J	Aucun	Goutte-à-goutte	Engrais conventionnels	1501	0,71
K	Aucun	Goutte-à-goutte	Engrais libération contrôlée	1762	0,84

Il y a une différence importante des coûts considérés entre les traitements comparés. En fait, il en coûte entre 776 et 6298 \$ par hectare entre le traitement le plus économique et le plus dispendieux. Ainsi, le traitement le plus avantageux sur le plan économique est constitué d'un paillis de plastique et il est non irrigué et non fertilisé. Les frais relatifs aux systèmes d'irrigation avec piquets arroseurs ou piquets goutteurs sont nettement supérieurs au système d'irrigation avec goutte-à-goutte. En plus des coûts d'acquisitions plus élevés, ces systèmes engendreront des coûts supplémentaires. Par exemple, dans un contexte où un verger serait implanté avec un système d'irrigation avec piquets arroseurs, la demande en eau (débit nominal du système) serait beaucoup plus élevée qu'avec un système avec piquets goutteurs ou par goutte-à-goutte. Cela pourrait engendrer des coûts supplémentaires sur les conduites principales, sur l'unité de pompage ou la main-d'œuvre nécessaire à la gestion de l'irrigation. Parmi les stratégies à l'étude il était souhaité d'en avoir une où un grand volume de sol serait à la portée des apports en eau par l'irrigation. Les piquets arroseurs ont été inclus pour cette raison et ont agi en quelque sorte comme un « Témoin humide ».

Pour justifier le choix d'un système cultural, plusieurs éléments doivent être considérés. Dans cette étude, il n'y a pas eu d'impact significatif des traitements sur le rendement ou la qualité des fruits. Partant de ce point, il pourrait être intéressant d'opter pour un système cultural économique. Toutefois, il pourrait être risqué à moyen terme d'opter pour des systèmes culturels sans fertilisation et/ou sans irrigation. Parallèlement, les systèmes culturels plus dispendieux n'ont pas permis d'augmenter significativement le rendement des camerisiers. Il est alors difficile de croire que l'investissement supplémentaire qu'ils nécessitent puisse être rentabilisé. D'autres essais à plus long terme devront être menés pour évaluer ces possibilités.

CONCLUSION

La croissance végétative et le rendement en fruits des cultivars Tundra et Indigo Gem n'ont pas été influencés différemment par les 11 stratégies culturales à l'étude. Qu'ils aient été irrigués ou non, sans égard au type de système d'irrigation, avec ou sans paillis et fertilisés avec de l'engrais granulaire ou soluble, aucune différence significative n'a été mesurée. La dose de fertilisant apportée était la même, tout comme la consigne pour déclencher l'irrigation.

En ce qui a trait au prélèvement eau par la culture, aucune contrainte, n'a été mesuré durant le projet dans les deux dispositifs expérimentaux. Cependant, une telle contrainte, propice à ce que la culture subisse un stress hydrique, a brièvement été mesurée en juillet 2018 pour deux sites satellites situés à Métabetchouan (sols plus légers). Le prélèvement quotidien en eau (évapotranspiration de la culture) varie de 0,5 à 1,5 mm, avec des valeurs maximales se rapprochant de 2,5 mm. Les besoins sont croissants, pour atteindre un plateau vers la récolte à la mi-juillet, pour ensuite décroître. Des coefficients culturaux ont été estimés et sont généralement inférieurs à 0,3. Ces derniers sont essentiels lorsque le bilan hydrique est utilisé pour savoir quand déclencher l'irrigation.

Maintenant, il serait précipité d'affirmer que l'irrigation et la fertilisation n'ont pas d'impact sur la croissance végétative et la productivité en fruits du camerisier. De l'implantation, jusqu'à ce que les plants atteignent leur maturité, les besoins en eau et en fertilisants sont changeants et l'architecture évolutive des plants est source d'opportunités et même de menaces. Par exemple, il est inutile d'apporter les fertilisants dans l'entre-rangs tant que les racines n'ont pas colonisé cette zone. L'apport d'engrais via le trou de plantation (contexte avec paillis) sera fort probablement plus efficace durant les premières années, où l'essentiel des racines s'y trouve, que lorsque les plants sont matures. La fertigation peut devenir une alliée intéressante pour apporter les fertilisants où sont situées les racines.

Le paillis est un moyen de conserver l'eau du sol, mais peut représenter un risque, en contexte non irrigué, pour des plants nouvellement mis en terre. Les différentes stratégies à l'étude ont possiblement une ou des fenêtres idéales, dans le développement du plant, pour être un atout. Toutefois, il n'a pas été possible de le mesurer sur la période étudiée. Aussi, il peut être plus difficile de mesurer un impact, à court terme, sur un arbuste que sur une culture annuelle. Sans oublier l'effet cumulatif des traitements qui peuvent s'installer. De tels essais gagneraient à être réalisés de façon continue, de la plantation jusqu'à la maturité des plants.

Cela dit, les résultats de ce projet indiquent que le paillis est un excellent moyen de conservation de l'eau et que les deux cultivars étudiés ont des besoins en eau plutôt faibles. Dans un tel contexte, le risque de subir un stress hydrique est réduit.

RÉFÉRENCES

- Allen, R.G., L.S. Pereira, D. Raes et M. Smith. 1998. Crop Evapotranspiration - Guidelines for computing crop requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper No 56. Rome.
- Conseil des productions végétales du Québec (CPVQ). 1988. Méthodes d'analyse des sols, des fumiers et des tissus végétaux. CPVQ. Québec. Agdex 533, méthode SS-1.
- Gee, G.W. et J.W. Bauder. 1986. Particle-size analysis. p. 383-411. In A. Klute (ed) Methods of soil analysis. Part 1. ASA. Monograph No 9. 2nd edition. Madison, WI.
- Iheshiulo, E.M-A. 2018. Determination of soil, and plant nutrient sufficiency levels for Haskap (*Lonicera Caerulea* L.), Thèse de maîtrise en science, Université Dalhousie, Halifax, Nouvelle-Écosse, Canada, 108p.
- 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.

Annexe

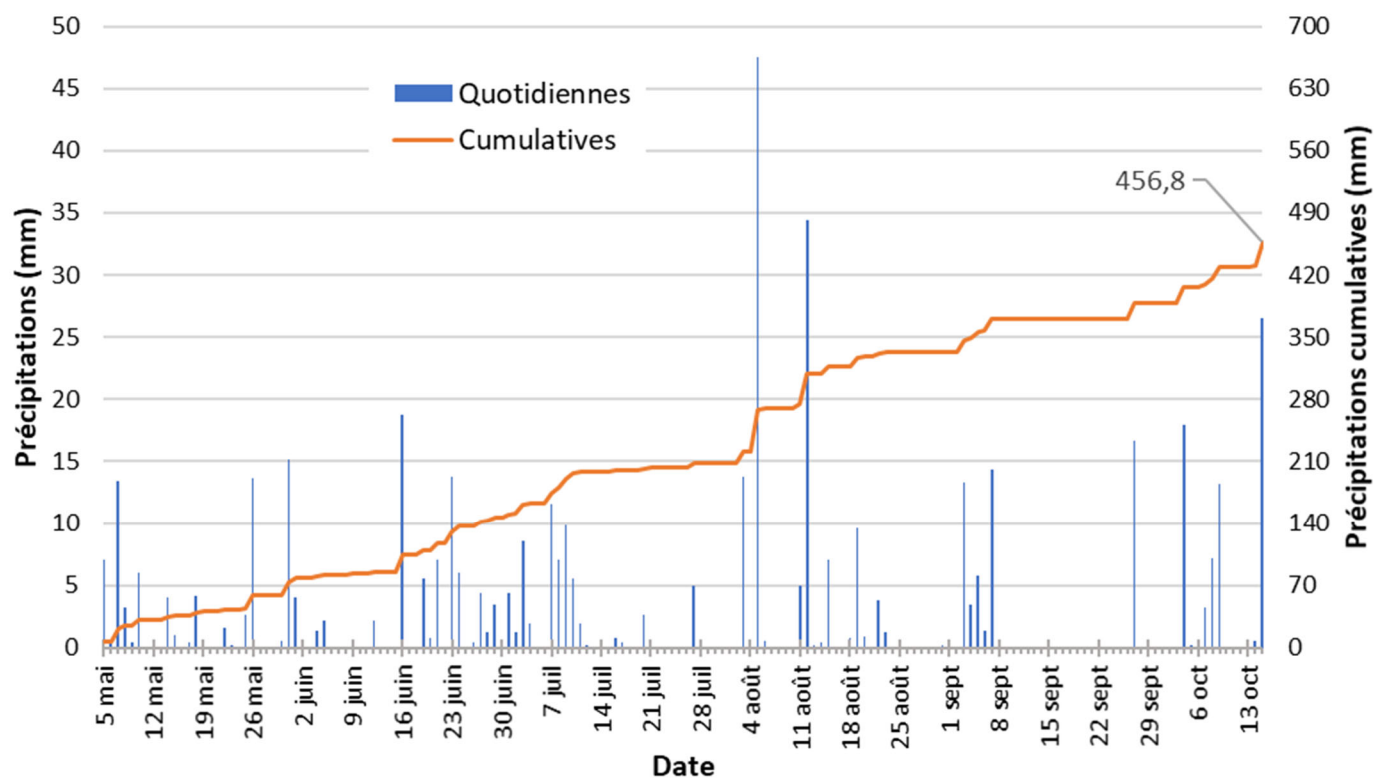


Figure 29. Pluviométrie (mm) au site de Saint-Anselme, 2017.

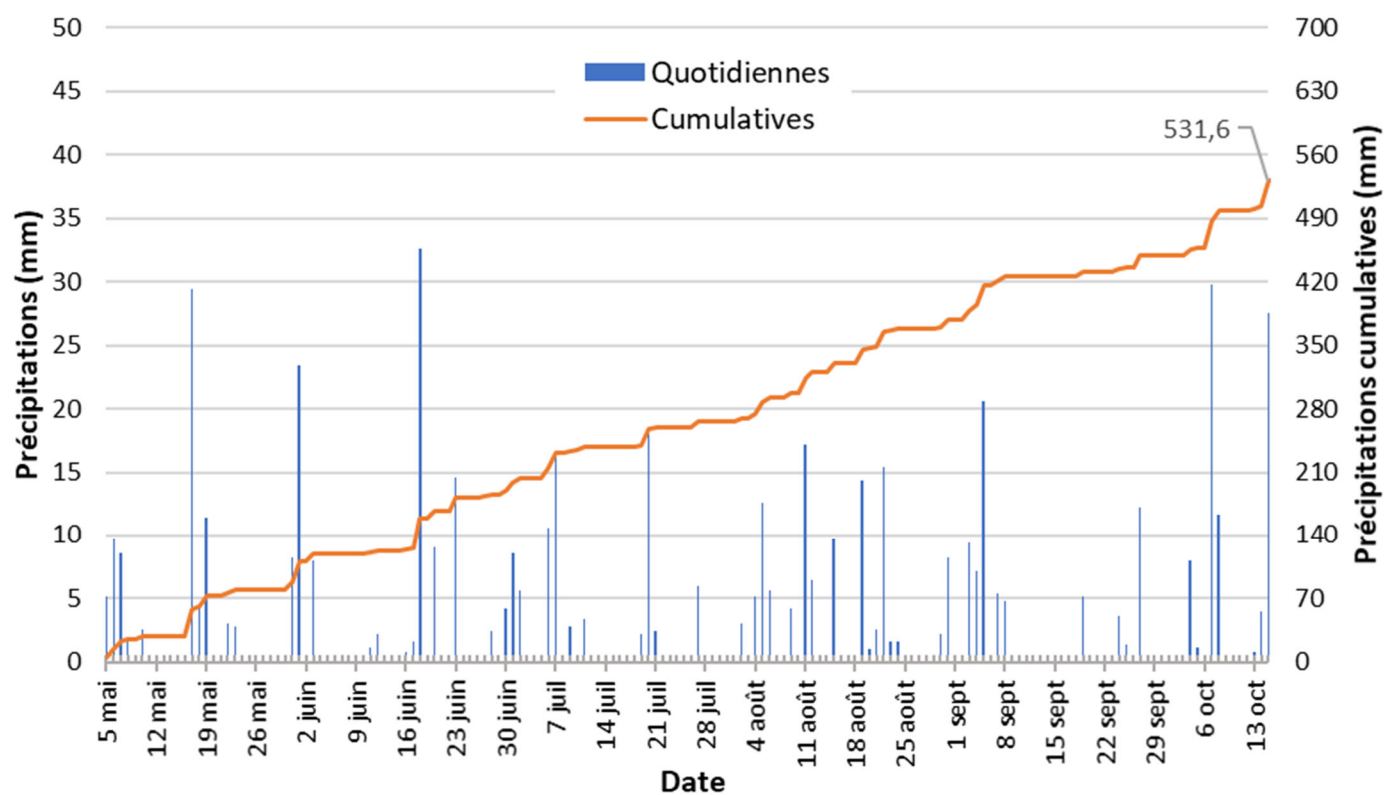


Figure 30. Pluviométrie (mm) au site de Saint-Nazaire, 2017.

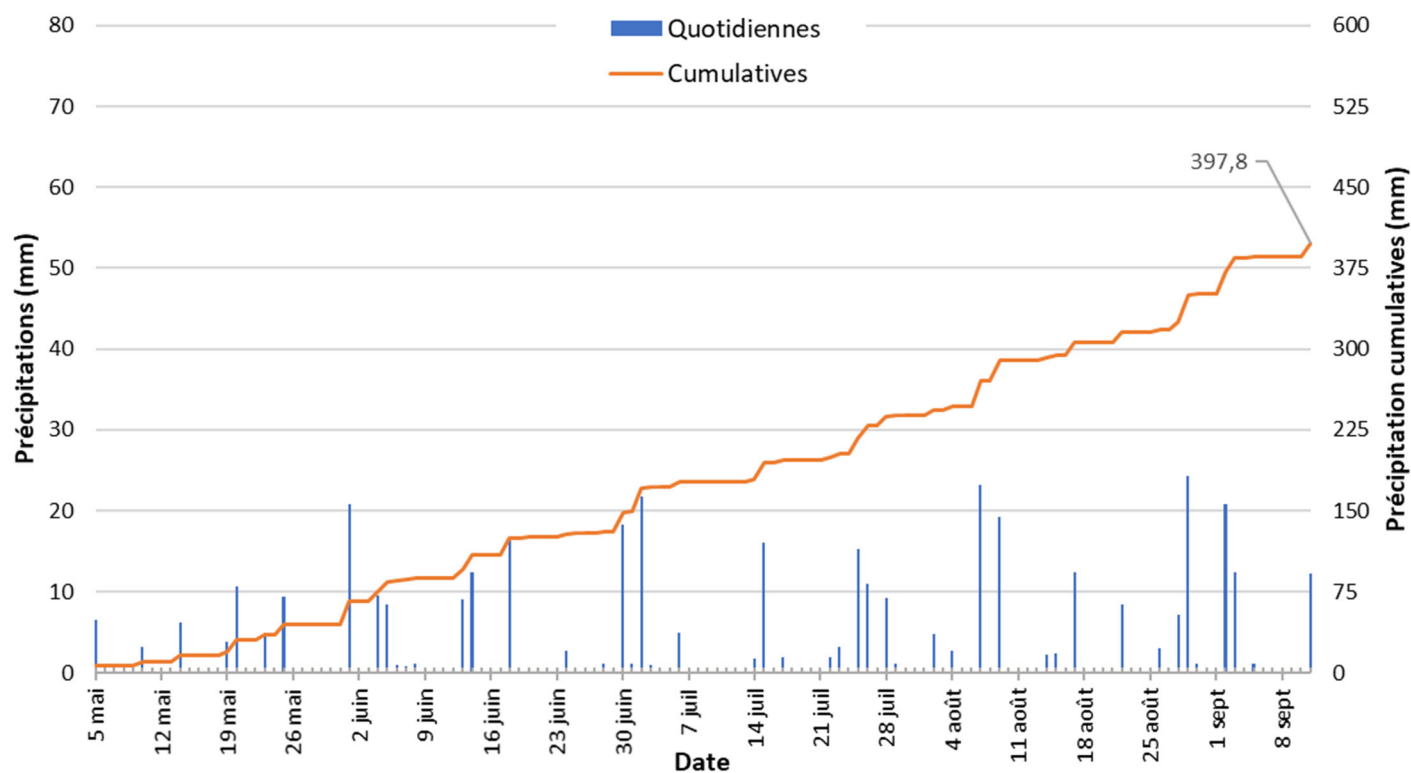


Figure 31. Pluviométrie (mm) au site de Saint-Anselme, 2018.

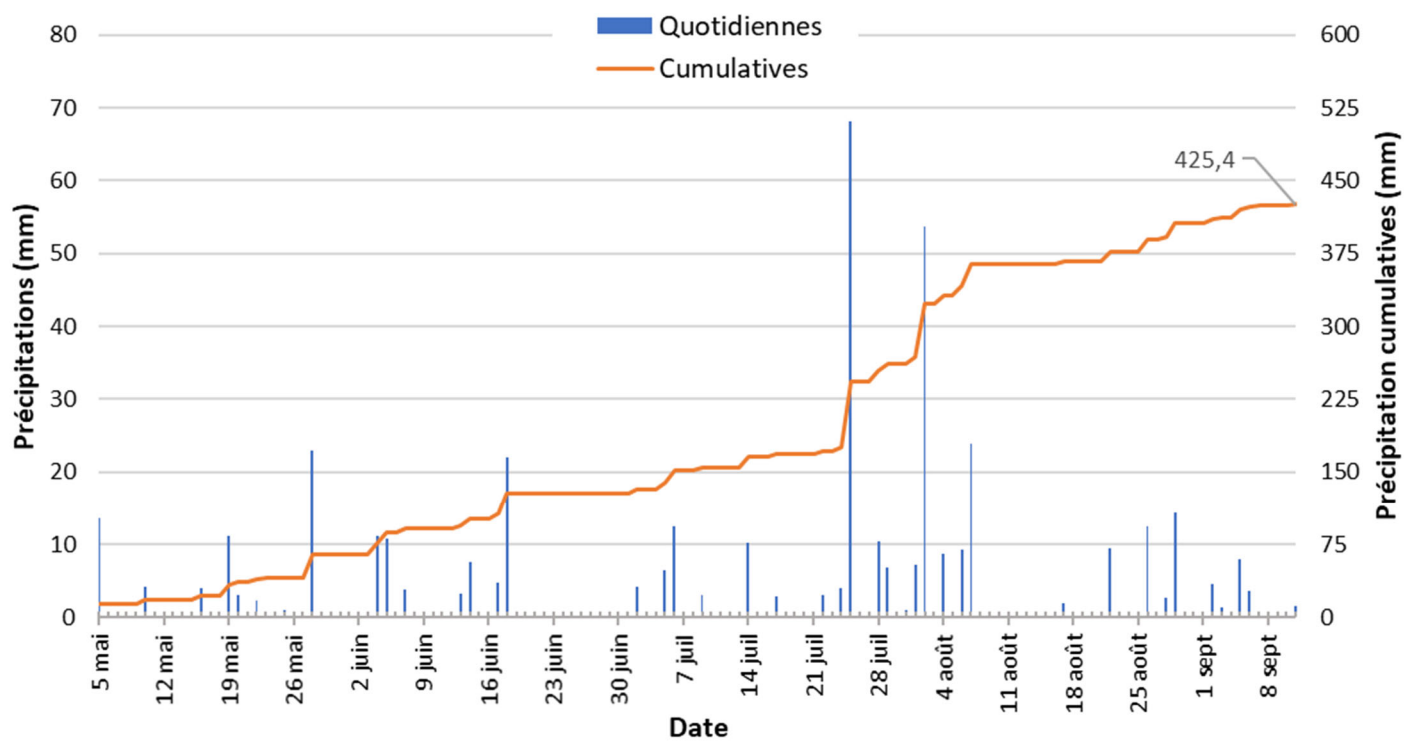


Figure 32. Pluviométrie (mm) au site de Saint-Nazaire, 2018.

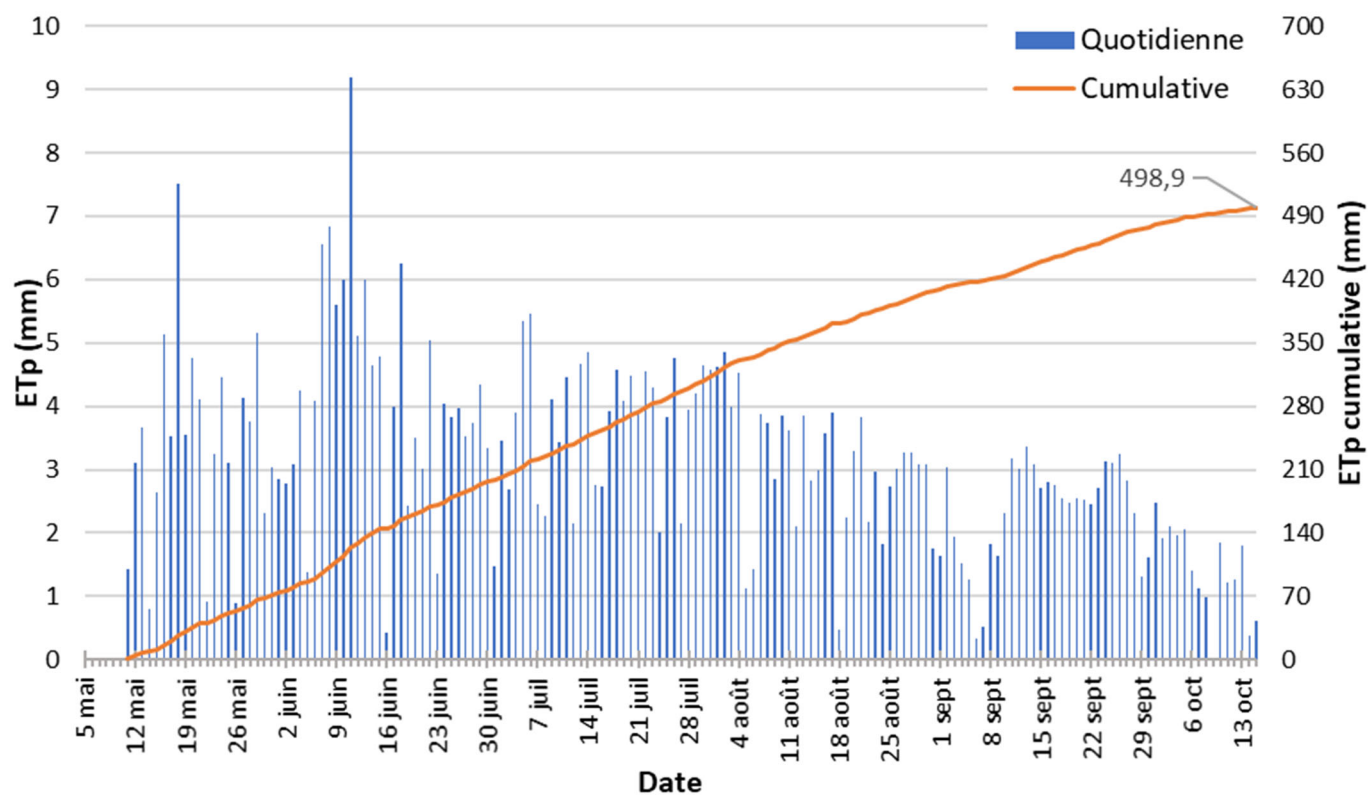


Figure 33. Évapotranspiration potentielle (ETp) (mm) au site de Saint-Anselme, 2017.

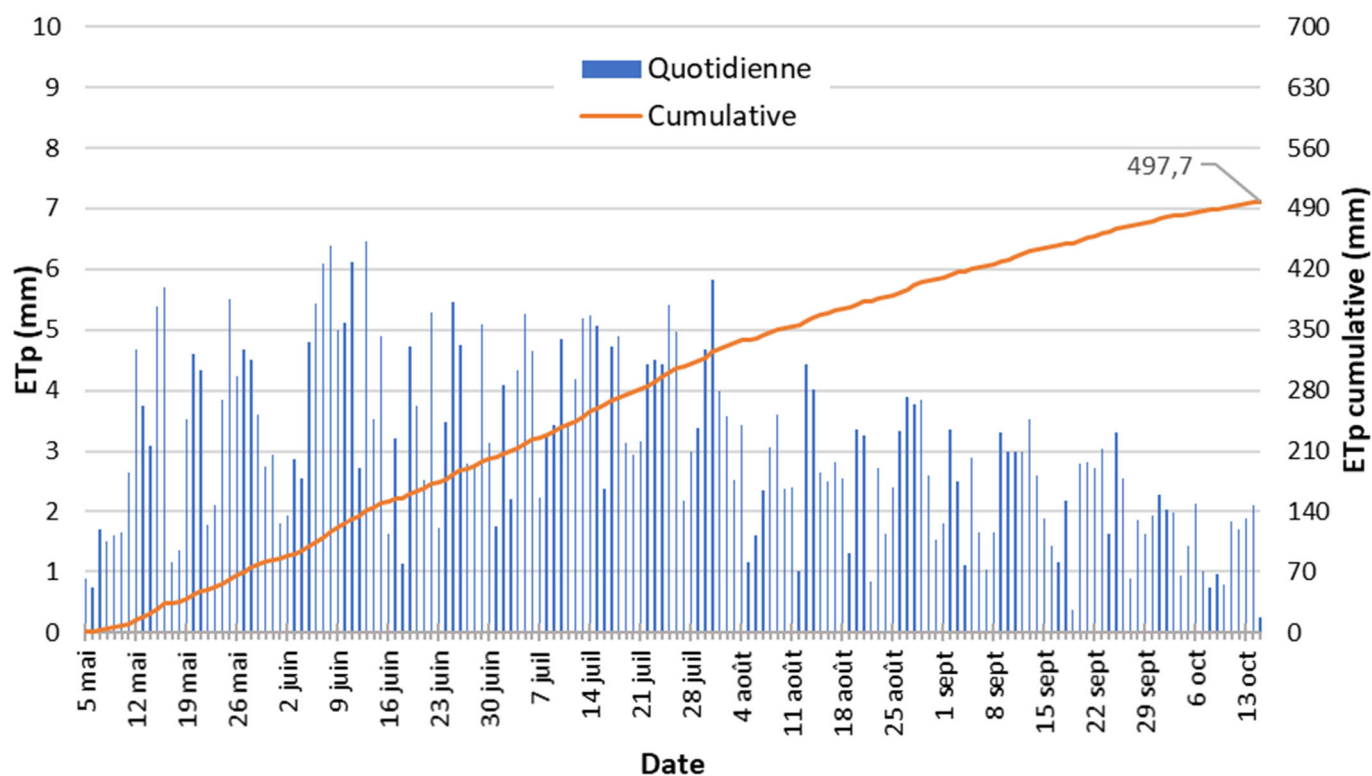


Figure 34. Évapotranspiration potentielle (ETp) (mm) au site de Saint-Nazaire, 2017.

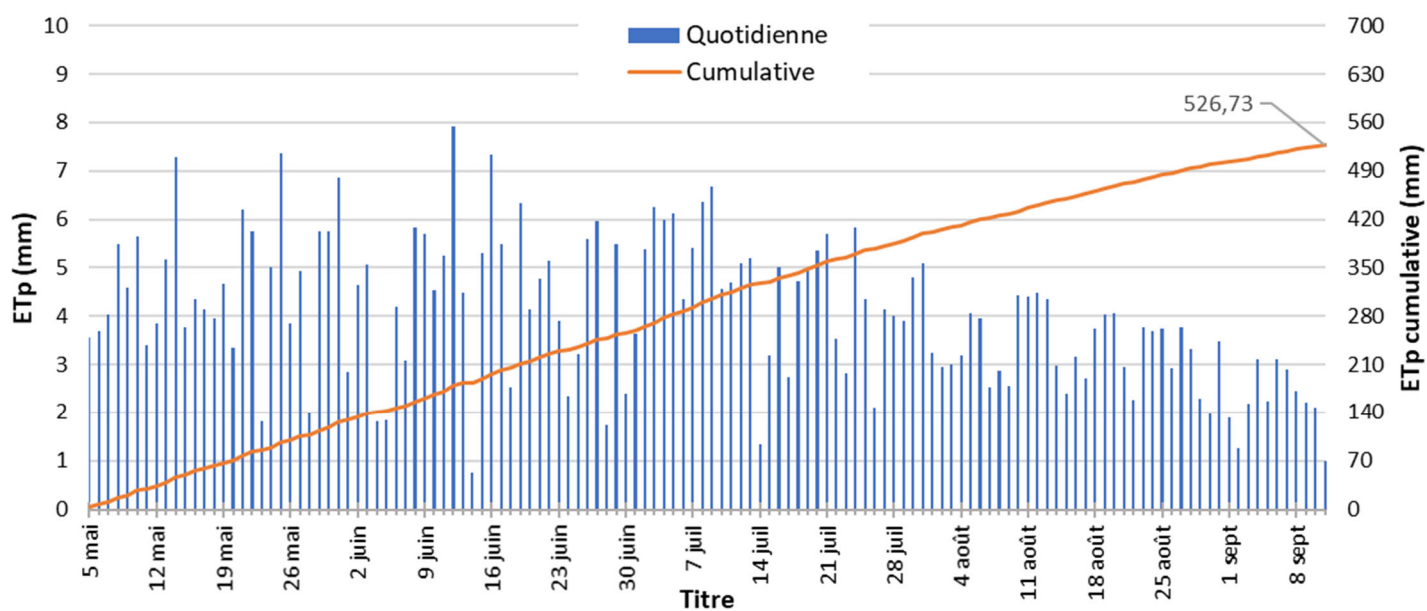


Figure 35. Évapotranspiration potentielle (ETp) (mm) au site de Saint-Anselme, 2018.

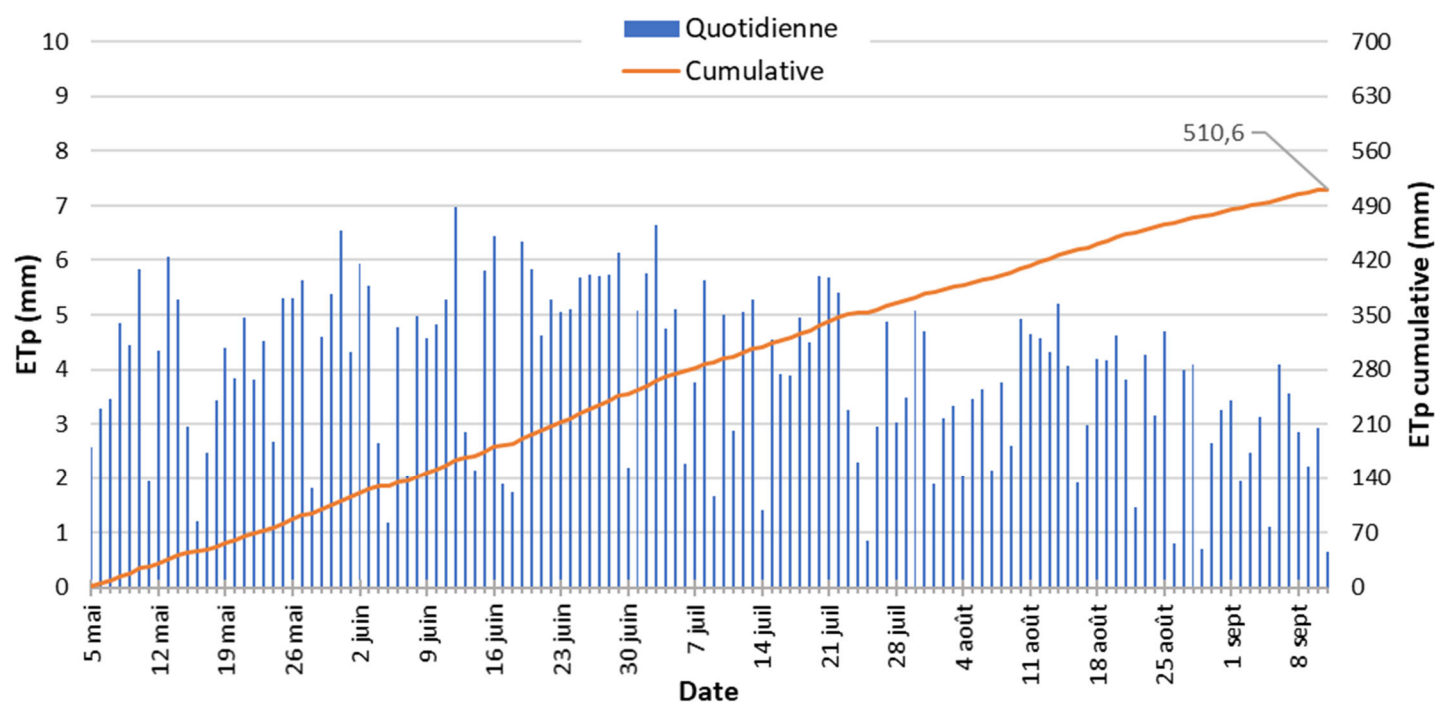


Figure 36. Évapotranspiration potentielle (ETp) (mm) au site de Saint-Nazaire, 2018.

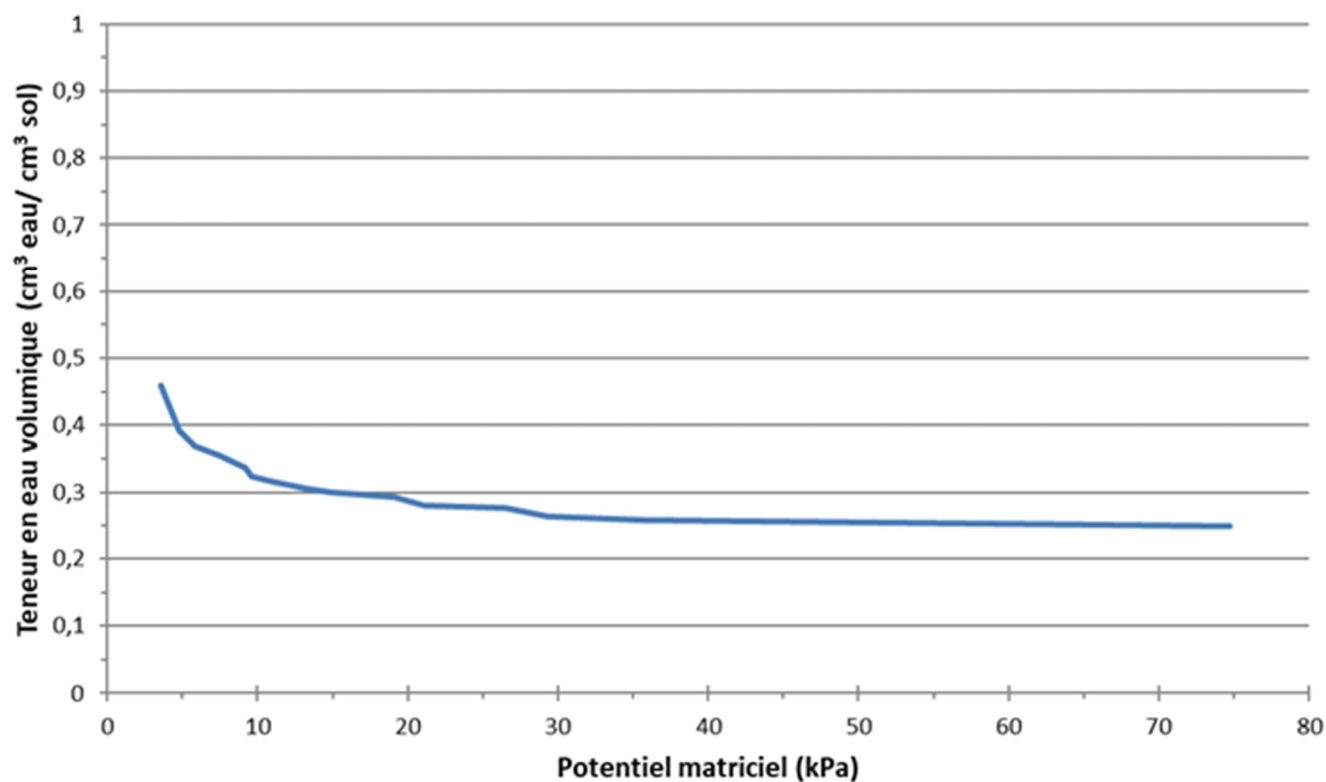


Figure 37. Courbe de désorption en eau du sol au site de Saint-Anselme.

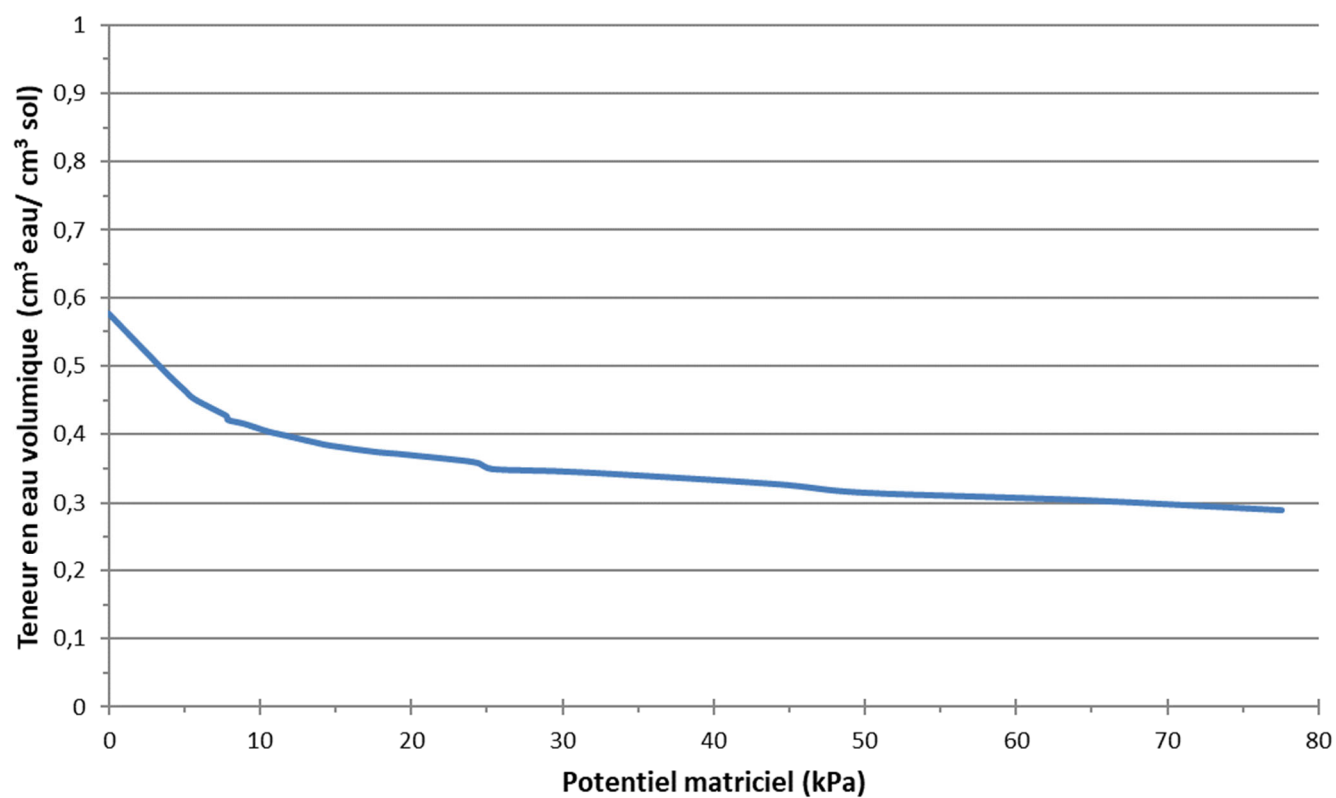


Figure 38. Courbe de désorption en eau du sol au site de Saint-Nazaire



Figure 39. Préparation de l'entre-rangs avant d'appliquer les engrais.



Figure 40. Application de l'engrais dans l'entre-rangs.



Figure 41. Piquet arroseur en action.



Figure 42. Piquet goutteur.



Figure 43. Tube de goutte-à-goutte (tube noir), le tube blanc est utilisé pour alimenter les parcelles en eau (système d'irrigation propre au projet)..



Figure 44. Récolte des fruits avec les piscines et la tige vibrante.



Figure 45. Parcelle avec paillis de type pépinière.