

L'IRRIGATION DE L'ARGOUSIER

Efficacité et rentabilité de l'irrigation dans la production d'argousier – Rapport final



Agriculture, Pêcheries
et Alimentation

Québec





Crédits

Rédaction

Ingrid Laplante, étudiante, Cultur'Innov
Marie-Ève Desaulniers, technologue agricole, Cultur'Innov
Francis Bernier-Blanchet, agronome, Cultur'Innov
Laurie Brown, agronome Cultur'Innov

Soutien à la rédaction

Stéphane Demers, biologiste M. Sc., Cultur'Innov
Laurie Brown, agronome, Cultur'Innov
Élisabeth Lefrançois, MAPAQ, Montérégie

Coordination de projet

Stéphane Demers, biologiste M. Sc., Cultur'Innov
Laurie Brown, agronome, Cultur'Innov
Francis Bernier-Blanchet, agronome, Cultur'Innov
Élisabeth Lefrançois, MAPAQ, Montérégie

Analyse statistique

Stéphane Demers, biologiste M. Sc., Cultur'Innov

Comité organisateur

Stéphane Demers, biologiste M. Sc., Cultur'Innov
Laurie Brown, agronome, Cultur'Innov
Francis Bernier-Blanchet, agronome, Cultur'Innov
Élisabeth Lefrançois, MAPAQ, Montérégie

Remerciements

Élisabeth Lefrançois, MAPAQ, Montérégie
Franck Djea, agroéconomiste, MAPAQ, Montérégie
Ingrid Laplante, étudiante, Cultur'Innov
Karl Beauchemin Pratte, étudiant, MAPAQ
Producteur participant

Ce projet a été réalisé grâce à une participation financière du programme d'appui au développement de l'agriculture et de l'agroalimentaire en région du MAPAQ :

**Agriculture, Pêcheries
et Alimentation**

Québec 

Table des matières

1	Introduction.....	2
2	Protocole expérimental	3
2.1	Site expérimental.....	3
2.2	Dispositif expérimental	3
2.2.1	Gestion de l'irrigation	4
2.2.2	Mesures de la croissance végétative	4
2.2.3	Mesures de rendement	5
3	Résultats.....	7
3.1	Pluviométrie	7
3.2	Calcul des quantités d'eau appliquées.....	7
3.3	Mesure de la croissance végétative	10
3.4	Mesure des rendements et de caractéristiques de fruits	13
3.5	Synthèse des résultats.....	17
4	Discussion.....	18
4.1	Pluviométrie et gestion de l'irrigation.....	18
4.2	Croissance végétative	18
4.3	Qualité des fruits	19
4.4	Caractéristiques physiques des fruits et rendement.....	20
4.5	Analyse technico-économique	21
4.5.1	Méthodologie de l'analyse technico-économique.....	21
4.5.2	Détails de l'analyse technico-économique.....	21
4.6	Résultats de l'analyse technico-économique.....	23
5	Conclusion	26
6	Références.....	27

Liste des figures

Figure 1. Méthode de récolte des portions de branches fructifères	6
Figure 2. Comparaison entre la longueur des tiges de l'année des plants irrigués et des plants non-irrigués	10
Figure 3. Comparaison entre la moyenne du diamètre des tiges de l'année des plants irrigués et des plants non-irrigués.....	11
Figure 4. Moyenne de la longueur des feuilles (cm) en 2017.....	11
Figure 5. Moyenne de la largeur des feuilles (cm) en 2017.....	12
Figure 6. Comparaison du degré Brix des fruits, au moment de la récolte, entre les plants irrigués et les plants non-irrigués pour 2016 et 2017	13
Figure 7. Comparaison entre le nombre de fruits moyen par cm de branche des plants irrigués et des plants non-irrigués pour 2016 et 2017	14
Figure 8. Comparaison entre la moyenne du poids des fruits par cm de branche des plants irrigués et des plants non-irrigués pour 2016 et 2017	14
Figure 9. Comparaison entre la moyenne du poids de 100 fruits des plants irrigués et des plants non-irrigués pour 2016 et 2017	15
Figure 10. Comparaison entre la moyenne de la longueur des fruits des plants irrigués et des plants non-irrigués en 2016 et 2017	16
Figure 11. Comparaison entre la moyenne du diamètre des fruits des plants irrigués et des plants non-irrigués en 2016 et 2017	16
Figure 12. Comparaison visuelle entre une parcelle irriguée et une parcelle non-irriguée.....	19

Liste des tableaux

Tableau 1. Compilation des précipitations mensuelles du 1er avril au 30 septembre 2016 et 2017	7
Tableau 2. Date et durée de l'irrigation en 2016	8
Tableau 3. Date et durée de l'irrigation en 2017.....	9
Tableau 4. Synthèse des différences significatives pour la croissance végétative.....	17
Tableau 5. Synthèse des différences significatives pour les rendements et les caractéristiques des fruits	17
Tableau 6. Comparaison de l'augmentation de la marge partielle annuelle selon les 3 scénarios	25

1 Introduction

L'argousier, de son nom latin *Hippophae rhamnoides* L., est cultivé commercialement au Québec depuis 1998 avec près de 145 hectares en production dans la province (Caroline Turcotte, comm. pers., janvier 2018). Au Québec, la culture de ce petit fruit permet la production d'une grande variété de produits alimentaires, cosmétiques et médicinaux aux diverses propriétés. L'arbuste épineux, produisant de petits fruits orangés, est communément appelé l'or du désert froid dans les régions où il pousse naturellement (K. Kalia, et al., 2011; Vernet, 2004).

La plante, native du nord de l'Europe et de l'Asie, est cultivée dans plusieurs pays de ces régions dans un climat généralement frais et sec. Réparti dans les régions tempérées du monde, l'argousier résiste à de grands écarts de températures allant de -43 °C jusqu'à 40 °C (APAQ, 2017). L'arbuste est dioïque. Les plants mâles et femelles produisent leurs fleurs après la 3^e ou 4^e année de croissance, généralement sur des pousses de 2 ans. Les informations concernant la production de l'argousier dans nos régions sont encore limitées. L'arbuste fruitier rustique est considéré comme une plante pionnière aimant la lumière et nécessitant peu d'entretien. Par son interaction symbiotique à un actinomycète du genre *Frankia*, la plante peut fixer l'azote, ce qui lui permet de développer plus facilement son système racinaire et de contribuer à améliorer le système édaphique environnant (Li & Beveridge, 2004).

Ayant aussi un système racinaire extensif, l'arbuste est parfois utilisé pour la remise en forme des terres et la conservation des sols (Li & Beveridge, 2004). D'ailleurs, vu ses qualités d'arbuste pionnier ainsi que sa capacité à résister à des taux de salinité élevés (Li & Beveridge, 2004), quelques plants poussent, au Québec, en bordure d'autoroute sans réel entretien. Cependant, en régie commerciale, il est reconnu que l'arbuste produit de meilleurs rendements lorsqu'il a accès à suffisamment d'eau tout au long de la saison de culture. Lors d'une période de sécheresse prolongée, les fruits peuvent se déshydrater ou tomber (Lu, 1992). La maturation des fruits, de juillet à septembre selon les cultivars, est une période critique pour l'obtention de rendements optimaux. Selon les données climatiques colligées sur Agrométéo, on peut observer des déficits d'évapotranspiration lors de cette période pouvant induire des stress hydriques. (Atlas agroclimatique du Québec, 2018). Actuellement, l'irrigation n'est pas une pratique courante chez les producteurs d'argousier. Dans d'autres cultures de petits fruits comme le bleuet, un apport suffisant en eau contribue à augmenter les rendements. Dans le cas de l'argousier, le conditionnement des fruits nécessite des investissements importants et le prix de vente du produit est élevé. Il serait pertinent de vérifier dans quelle situation l'irrigation de cette culture est profitable et si cette pratique culturale pourrait contribuer à l'augmentation des rendements en vue d'une meilleure rentabilité économique.

En 2007, la croissance des plants et la disponibilité en éléments fertilisants selon le cultivar, la régie d'irrigation et le type de paillis ont été étudiés. En conclusion de cette étude, le type de paillis et la régie d'irrigation n'avaient pas d'impacts significatifs sur l'apport en minéraux des différents cultivars. La croissance en diamètre des branches avait quant à elle été supérieure pour les plants

ayant eu la combinaison « système d'irrigation » et « paillis organique ». Cette combinaison offrait le milieu le plus humide. L'argousier en stade d'implantation a bien répondu à ce régime en démontrant une meilleure vigueur (Boivin, 2007).

Dans une seconde recherche, il a été observé que dans un sol sableux en Allemagne, les rendements en fruits, le poids de 100 fruits, et la croissance des tiges étaient supérieurs dans les parcelles irriguées par rapport à celles qui ne l'étaient pas (Rocksch, 2012). Il devient donc pertinent d'observer l'effet de l'irrigation sur les rendements en fruits dans des vergers en production commerciale au Québec, dans un climat estival plus chaud que l'Allemagne et dans des sols différents.

Un projet de recherche sur deux ans, 2016-2017, a été consacré à cette problématique. Les objectifs de ce projet sont de vérifier l'impact de l'irrigation au goutte-à-goutte sur les rendements en fruits de l'argousier au Québec et d'effectuer une analyse technico-économique sur la pratique de l'irrigation selon les rendements obtenus avec et sans irrigation. Ce projet servira aussi à documenter, à l'aide d'observations, la croissance des plants et le développement des fruits en comparant ces deux traitements différents.

2 Protocole expérimental

2.1 Site expérimental

Le projet a été réalisé dans un verger d'argousier de production commerciale implanté en 2013 située en Montérégie Est. La zone de rusticité pour ce site est 4b dans le système canadien. Le cultivar Leikora représente la majorité de la production et tous les plants sous étude. Les arbres ont été plantés à une distance de 1.5 m sur le rang et de 3.35 m entre les rangs. Le sol est un loam sableux graveleux de la série Roxton avec une pente d'environ 5%. Selon le propriétaire, le sol aurait été perturbé dans les années 70 par des ajouts de terre de remblais. Le sol contient une forte proportion de pierres et de cailloux.

2.2 Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental consiste en 2 traitements, irrigué et non-irrigué, répétés 3 fois, pour un total de 6 parcelles. Chaque traitement compte un total de 30 plants, 10 plants par parcelle pour le traitement irrigué, et 8, 10 et 12 plants par parcelle pour le traitement non-irrigué pour maintenir l'uniformité des plants. Les parcelles ont été délimitées dans les zones les plus uniformes du champ et la localisation des traitements a été faite de façon aléatoire. L'établissement des parcelles a été fait au mois de mai pour les deux années.

2.2.1 Gestion de l'irrigation

Pour le système d'irrigation, un ensemble de goutte-à-goutte *BioPlus* acheté chez Dubois Agrinovation a été utilisé. Le ruban goutte à goutte était d'un diamètre de 5/8'', l'espacement entre les goutteurs de 8''. Chacun des goutteurs avait un débit allant de 0.13 à 0.15 gallon américain par heure (gph) pour une pression de 8 à 10 PSI. Les rubans de goutte-à-goutte, pour les parcelles irriguées, débutaient toujours au moins un plant avant et se terminaient un plant après la parcelle.

Des tensiomètres (0-100 kPa) ont été installés dans chacune des parcelles. Pour les parcelles irriguées, un tensiomètre plus court (Irrometter co. SR 12 po) a été posé à 20 cm de profondeur pour mesurer la tension au centre de la zone racinaire et un plus long (Irrometer co.SR 18po) a été posé là où la majorité du système racinaire se terminait. En 2016, ce tensiomètre a été posé à 30 cm de profondeur et à 40 cm en 2017. Un seul tensiomètre à 20 cm de profondeur pour 2016 et à 30 cm en 2017, a été installé dans les parcelles non-irriguées (Irrometter c, SR VV po).

Pour déterminer le moment du déclenchement de l'irrigation, la capacité au champ a été identifiée à l'aide des tensiomètres. Pour ce faire, le sol devait être saturé d'eau jusqu'à ce que les tensiomètres indiquent 0 (zéro). La lecture qu'indiquait le tensiomètre court, 24 à 48 heures plus tard, représentait la valeur de la capacité au champ. À cette valeur, 15 cb ont été additionnés pour déterminer la valeur de déclenchement de l'irrigation (Bergeron & Boivin, 2005). Donc, lorsque la moyenne des trois tensiomètres courts installés dans les parcelles irriguées atteignait le seuil recommandé, l'irrigation devait être mise en fonction. Pour déterminer le moment d'arrêt de l'irrigation, la consigne était de calculer le temps nécessaire pour que le deuxième tensiomètre diminue significativement. Une fois le délai déterminé, le producteur devait respecter ce temps pour toute la durée du projet.

2.2.2 Mesures de la croissance végétative

2.2.2.1 Mesure des tiges de l'année

La croissance végétative a été évaluée en mesurant les trois plus grosses tiges de l'année appelées scions. Les tiges de l'année se distinguent par leur couleur plus claire, leur faible lignification qui leur confère plus de souplesse et par une absence ou une faible ramification. Le diamètre et la longueur de ces trois plus grosses tiges de l'année ont été mesurés au moment de la récolte.

Pour le diamètre, la mesure a été prise à la base de la tige à environ 1 cm du point de naissance de la branche à l'aide d'un pied à coulisse digitale *Mastercraft* avec une précision au centième de millimètre. Pour la longueur, la mesure a été prise à partir du point de naissance de la branche jusqu'à son bourgeon terminal à l'aide d'un ruban à mesurer avec une précision de 0.5 mm.

2.2.2.2 *Mesure des feuilles*

Les mesures des feuilles ont été prises seulement en 2017. Au moment de la récolte, dix feuilles provenant du centre de 10 scions choisies aléatoirement autour du plant ont été cueillies avec le pétiole pour s'assurer de ne pas déchirer la feuille. La longueur a été mesurée du sommet jusqu'à la base du limbe. La largeur a été mesurée au point le plus large de la feuille. Le tout, à l'aide d'un ruban à mesurer avec une précision de 0.5 mm.

2.2.3 Mesures de rendement

2.2.3.1 *Degré Brix*

Lors de la récolte, le degré Brix a été mesuré pour chacun des arbres de l'expérimentation à l'aide d'un réfractomètre optique de marque *Reed* modèle R9500. Cette mesure a été prise à partir du jus de 6 fruits cueillis aléatoirement sur le plant, lors de la première année, et à partir du jus de 30 fruits cueillis aléatoirement sur le plant lors de la deuxième année.

2.2.3.2 *Le nombre de fruits par arbre et le nombre de fruits par cm de branche*

Pour la récolte, dix branches fructifères par arbre ont été sélectionnées aléatoirement : trois dans le bas du plant, trois dans le milieu, trois dans le haut et une dernière au hasard. Sur chacune de ces branches, 10 cm de bois fructifère ont été récoltés (Figure 1). Afin d'accroître l'uniformité, le premier 10 cm à partir de l'aisselle est évité, et c'est le 10 cm suivant qui est prélevé pour la prise de données. Dans certains cas, en raison de la longueur de la branche, la portion prélevée était plus courte que 10 cm. Les résultats ont été pondérés pour en tenir compte. Toutes les portions de branches d'un même arbre ont été placées dans un sac bien identifié. Les sacs ont été entreposés au congélateur la journée même. Une fois bien gelés, les fruits que contenaient chacun des sacs ont été comptés et chacune des portions de branche, mesurée pour obtenir la longueur totale des portions de branches fructifères récoltées. Ensuite, le nombre de fruits a été divisé par le nombre de centimètres de branche. Ce calcul permet de comparer le nombre de fruits par centimètre de branche que portait les plants irrigués et les plants non-irrigués.

En 2017, en raison de la technique de récolte du producteur de 2016, certains plants ne contenaient pas assez de fruits pour appliquer la méthode décrite plus haut. Ainsi, presque tous les fruits de ces plants ont dû être récoltés. Pour permettre la comparaison du nombre de fruits par centimètre de branche avec les autres plants, la moyenne du nombre de centimètres de branche récoltés sur les autres arbres du même traitement pour lesquels le protocole a pu être appliqué correctement a été utilisée.

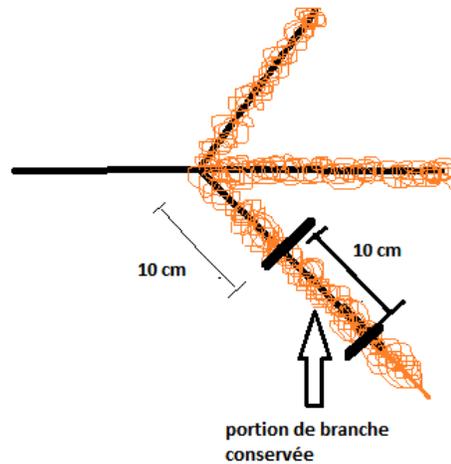


Figure 1. Méthode de récolte des portions de branches fructifères

2.2.3.3 Le poids de fruits par cm de branche

Le poids des fruits récoltés par plant a été pesé. Le poids obtenu a été divisé par le nombre de centimètres de branche récoltés (ou par la moyenne de cm de branches récoltés lorsque les plants n’avaient pas suffisamment de fruits en 2017).

2.2.3.4 Le poids de 100 fruits

Pour chacun des arbres, 100 fruits gelés choisis aléatoirement, ont été pesés à l’aide d’une balance digitale avec une précision au dixième de gramme.

2.2.3.5 La longueur et le diamètre des fruits

Le diamètre et la longueur de 60 fruits par arbre choisis au hasard parmi les fruits congelés, ont été mesurés à l’aide du même pied à coulisse utilisé pour mesurer les tiges de l’année. Les fruits devaient être bien gelés pour qu’ils ne s’affaissent pas sous la pression du pied à coulisse. Au total, 3600 fruits ont été mesurés par année.

3 Résultats

3.1 Pluviométrie

Les deux années du projet ont été complètement différentes en termes de précipitations et de température. En 2016, c'était l'été le plus chaud depuis 2005 en Montérégie avec un mois d'août fracassant des records dans plusieurs régions (MétéoMédia, 2016). À l'inverse, des extrêmes de précipitations ont été vécus en 2017 dans le sud du Québec (MétéoMédia, 2017). Pour les mois d'avril à septembre 2016 et 2017, les précipitations recueillies par la station météorologique la plus près du site expérimental ont été compilées. En 2017, il est tombé 150 mm de plus qu'en 2016.

Tableau 1. Compilation des précipitations mensuelles du 1er avril au 30 septembre 2016 et 2017

Précipitations mensuelles (mm)							
	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Total
2016	59,7	61,2	59	65	134,8	39,4	419,1
2017	140,3	67,8	105,8	89,8	121,6	43,8	569,1

Agrométéo.org - Sommaire météorologique station Granby

3.2 Calcul des quantités d'eau appliquées

Les parcelles pour les deux traitements de l'expérimentation ont été installées le 16 mai en 2016 et le 24 mai en 2017. La capacité au champ est de 8 cb et la valeur moyenne que les tensiomètres courts devaient atteindre pour démarrer l'irrigation était de 23 cb. Au départ, les lectures de tensiomètres devaient être prises cinq fois par semaine. Dans la pratique en 2016, les lectures ont été prises de deux à quatre fois par semaine. En 2017, elles ont été notées de 3 à 6 fois (Annexe 1). La saison 2016 a été particulièrement sèche et les tensiomètres ont souvent atteint des valeurs supérieures à 75 cb. À partir de cette valeur, les tensiomètres se vident rapidement et doivent être surveillés quotidiennement. En 2017 de telles valeurs ont aussi été observées surtout dans les parcelles non-irriguées et seulement 3 fois dans les parcelles irriguées vers la fin des mois de juillet et août. Les tensiomètres ont été hivernés à la mi-septembre après la récolte. Aucune irrigation n'a eu lieu à partir de ces dates.

Selon les observations faites au champ et l'âge de la plantation, on estime que l'espacement entre les plants de 1.5 m est complètement occupé par les racines. L'eau apportée par le système d'irrigation se déverse donc complètement dans la zone racinaire. Avec cette mesure et les données techniques du système d'irrigation utilisé, on peut estimer la quantité d'eau totale apportée aux plants selon le nombre d'heures où ce système a été en fonction. Dans ce contexte, le volume d'eau total apporté à chacun des plants irrigués en 2016 est de 348 litres répartis sur 30 périodes d'irrigation pour les mois de mai à septembre (Tableau 2) et de 294 litres par plant irrigué, répartis en 21 périodes pour 2017 (Tableau 3).

Tableau 2. Date et durée de l'irrigation en 2016

Mois	Date	Durée de l'irrigation (Heures)
Mai - Période d'ajustement	17	1,75
	25	2,25
	28	2,5
Juin	1	2
	3	3,25
	5	2
	17	3
	20	2
Juillet	1	2,5
	4	2,5
	7	2,5
	12	2,5
	15	2
	17	2,25
	20	3,5
	22	2
27	2,5	
Août	1	2
	2	3
	3	3
	6	2
	9	2,75
	11	3
	21	2
	28	2,5
	30	4
Septembre	6	1,67
	9	1,67
	13	1,67
	16	1,67

Tableau 3. Date et durée de l'irrigation en 2017

Mois	Date	Durée d'irrigation (heures)
Mai - Période d'ajustement	28	1,75
	29	2,5
	30	1,75
Juin	11	3
	13	2
	18	3
	26	2
	29	3
Juillet	6	4
	17	3
	19	2
	22	3
	27	3
	31	3
Août	3	3
	8	3
	10	3
	15	3
	17	3
	22	3
	29	5,75

3.3 Mesure de la croissance végétative

3.3.1.1 La longueur des tiges de l'année

En 2016, les tiges étaient significativement plus longues dans les plants irrigués (Wilcoxon: $Z=-8,081$; $n=180$; $p<0,001$). Les nouvelles tiges des plants irrigués étaient en moyenne de 49.38 cm et celles non-irrigués, de 26.43 cm. En 2017, la différence n'était pas significative (Wilcoxon: $Z=1,007$; $n=180$; $p=0,314$). La moyenne des tiges du traitement avec irrigation était de 64.46 cm et de 66.96 cm pour les non-irrigués. (Figure 2)

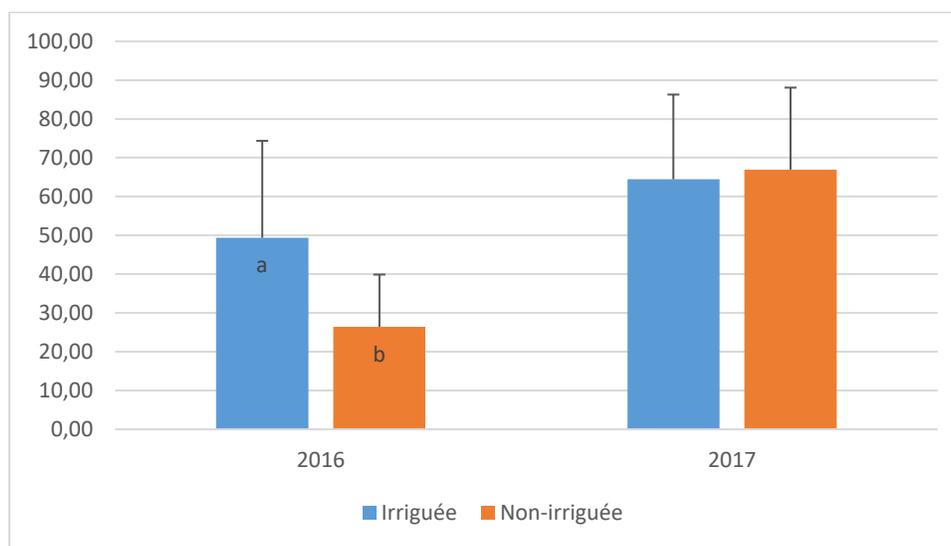


Figure 2. Comparaison entre la longueur des tiges de l'année des plants irrigués et des plants non-irrigués

3.3.1.2 Le diamètre à la base des tiges de l'année

En 2016, le diamètre des pousses des plants irrigués était significativement plus grand que celui des plants non-irrigués (Wilcoxon: $Z=-7,597$; $n=180$; $p<0,001$). Des moyennes de diamètre de 5.6 mm pour les plants irrigués contre 3.64 mm pour les plants non-irrigués ont été obtenues. En 2017, il n'y avait aucune différence significative (Wilcoxon: $Z=-1,618$; $n=180$; $p=0,106$). Les plants irrigués avaient une moyenne de diamètre de 7.98 mm contre 7.48 mm pour les plants non-irrigués. (Figure 3)

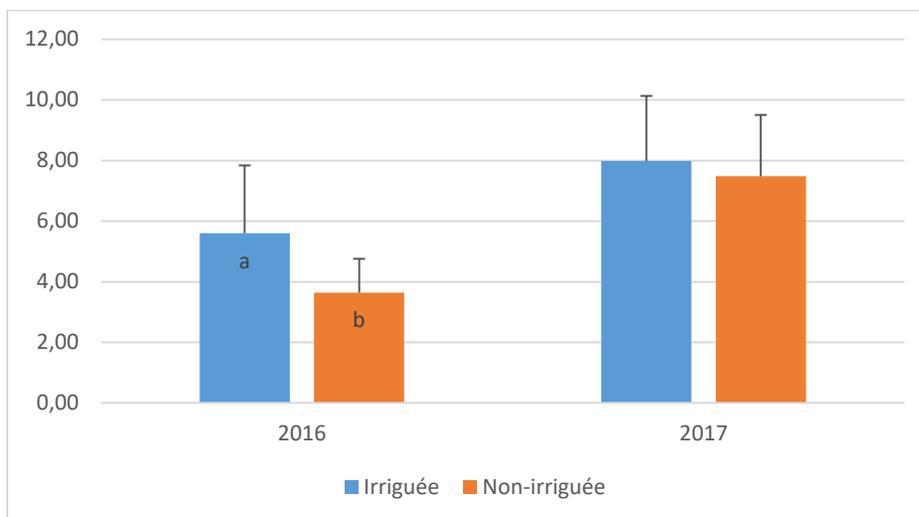


Figure 3. Comparaison entre la moyenne du diamètre des tiges de l'année des plants irrigués et des plants non-irrigués

3.3.1.3 La longueur des feuilles

Les feuilles des plants irrigués étaient significativement plus longues (Wilcoxon: $Z=-10.738$; $n=600$; $p<0,001$), avec une moyenne de 6.73 cm, que celles des plants non-irrigués avec une moyenne de 5.93 cm (Figure 4).

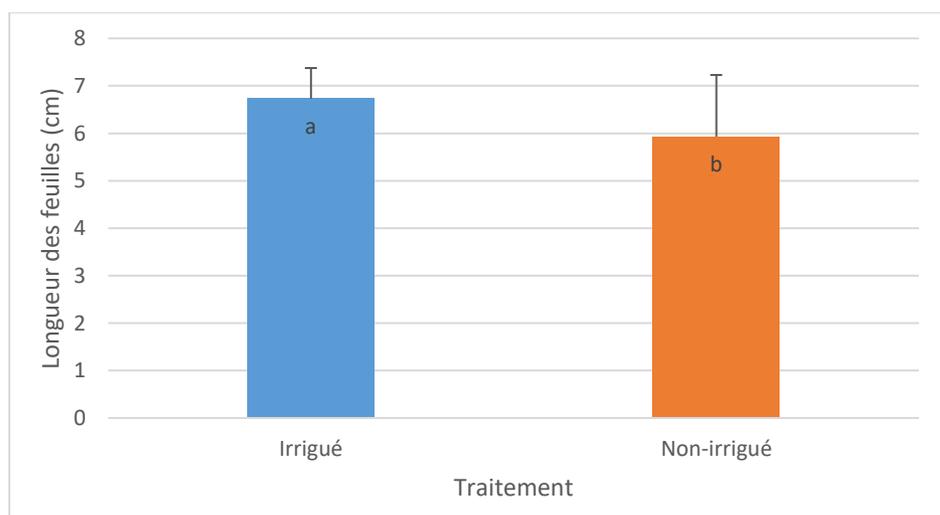


Figure 4. Moyenne de la longueur des feuilles (cm) en 2017

3.3.1.4 La largeur des feuilles

Les feuilles des plants irrigués étaient significativement plus larges (Wilcoxon: $Z=-4.652$; $n=600$; $p<0,001$), avec une moyenne de 1 cm contre 0.97 cm, pour les plants non-irrigués (Figure 5).

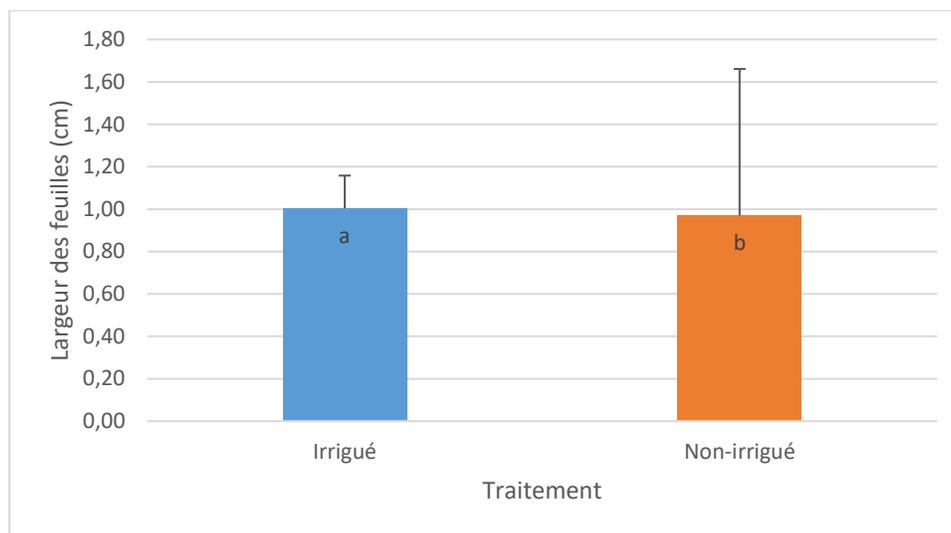


Figure 5. Moyenne de la largeur des feuilles (cm) en 2017

3.4 Mesure des rendements et de caractéristiques de fruits

3.4.1.1 Le degré Brix

Lors des deux années, les plants irrigués avaient un degré Brix significativement plus élevé que les plants non-irrigués (Wilcoxon :2016 : $Z=-4,251$; $n=60$; $p<0,001$; 2017 : $Z=-4,971$; $n=59$; $p<0,001$). En 2016, les plants irrigués avaient un degré Brix moyen de 6.6 et les plants non-irrigués de 6.1. En 2017, les plants irrigués avaient un degré Brix de 7.3 contre 6.5 pour les plants non-irrigués (Figure 6).

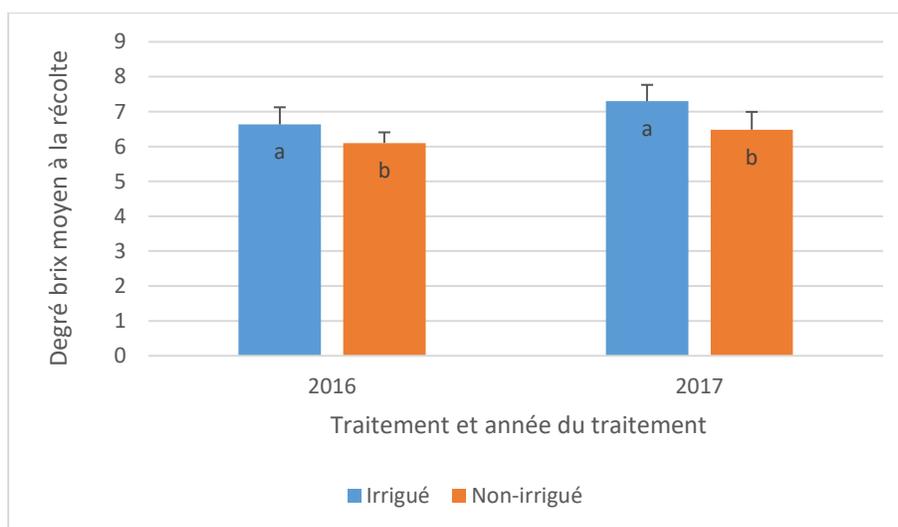


Figure 6. Comparaison du degré Brix des fruits, au moment de la récolte, entre les plants irrigués et les plants non-irrigués pour 2016 et 2017

3.4.1.2 Le nombre de fruits par centimètre de branche

En 2016, les plants irrigués comptaient en moyenne 3.91 fruits par centimètre de branche alors que les plants non-irrigués en portaient 3.67. Il n'y avait pas de différence significative pour le nombre de fruits par centimètre de branche entre les plants irrigués et les non-irrigués (Wilcoxon: $Z=-0,976$; $n=60$; $p=0,329$). En 2017, les plants irrigués avaient un nombre de fruits moyen récolté par centimètre de branche significativement plus élevé (Wilcoxon: $Z=-2,616$; $n=59$; $p=0,009$). Les plants irrigués comptaient en moyenne 1.83 fruit par centimètre de branche contre 1.36 fruit pour les plants non-irrigués. Soixante-seize pourcents (76%) des données de « cm de branches » qui ont dû être extrapolées provenaient des traitements non-irrigués. Une moyenne de 97 cm a été utilisée pour les plants qui ne portaient pas assez de fruits en 2017. (Figure 7)

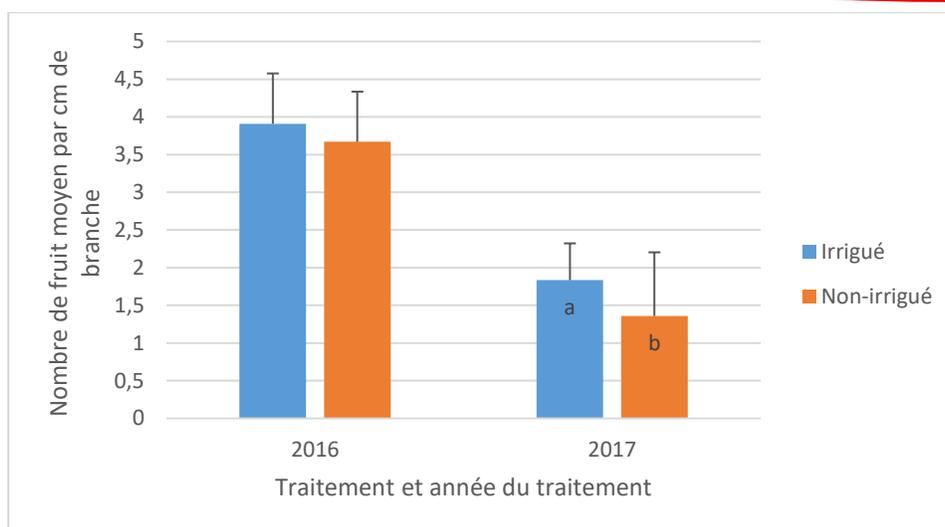


Figure 7. Comparaison entre le nombre de fruits moyen par cm de branche des plants irrigués et des plants non-irrigués pour 2016 et 2017

3.4.1.3 Le poids de fruits par centimètre de branche

Pour les deux années, le poids des fruits par centimètre de branche récoltée était significativement plus élevé pour les plants irrigués que pour les plants non-irrigués (Wilcoxon: 2016 : $Z=-3,652$; $n=60$; $p<0,001$; 2017 : $Z=-3,048$; $n=59$; $p=0,002$). En 2016, la moyenne du poids par centimètre de branche pour les plants irrigués était de 1.79 g et de 1.43 g pour les plants non-irrigués. En 2017, la moyenne était de 1.04 g pour les plants irrigués et de 0.73 g pour les plants non-irrigués. (Figure 8)

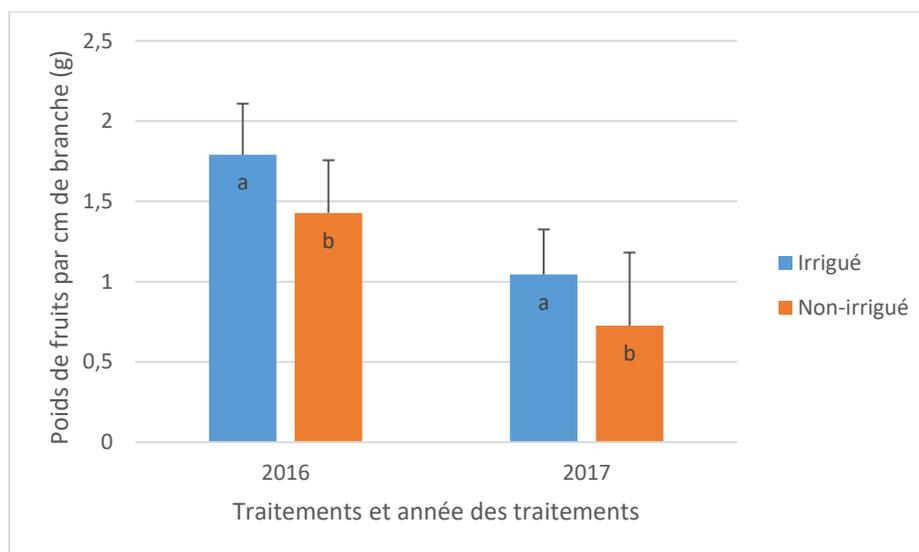


Figure 8. Comparaison entre la moyenne du poids des fruits par cm de branche des plants irrigués et des plants non-irrigués pour 2016 et 2017

3.4.1.3 Le poids de 100 fruits

En 2016 et en 2017, les fruits des plants irrigués étaient significativement plus lourds que ceux des plants non-irrigués (Wilcoxon: 2016: $Z=-5,182$; $n=60$; $p<0,001$; 2017: $Z=-3,304$; $n=49$; $p=0,001$). En 2016, le poids moyen de 100 fruits était de 43.63 g pour les plants irrigués et de 38.3 g pour les non-irrigués. En 2017, c'était 57.57 g pour le traitement irrigué et 53.16 g pour le traitement non-irrigué. (Figure 9)

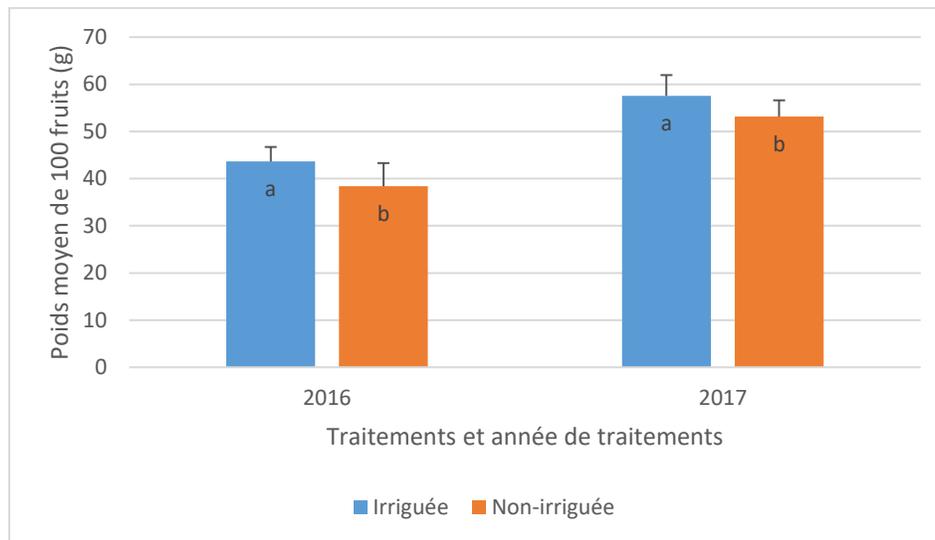


Figure 9. Comparaison entre la moyenne du poids de 100 fruits des plants irrigués et des plants non-irrigués pour 2016 et 2017

3.4.1.4 La longueur des fruits

Pour 2016 et 2017, les fruits des arbres irrigués étaient significativement plus longs (2016: $t=30,641$; $ddl=3598$; $p<0,001$; 2017: $t=17,577$; $ddl=3439$; $p<0,001$). Les valeurs moyennes, en 2016, étaient de 12.13 mm pour le traitement irrigué et de 11.33 mm pour le traitement sans irrigation. En 2017, c'était 13.28 mm pour les plants irrigués et 12.15 mm pour les non-irrigués. (Figure 10)

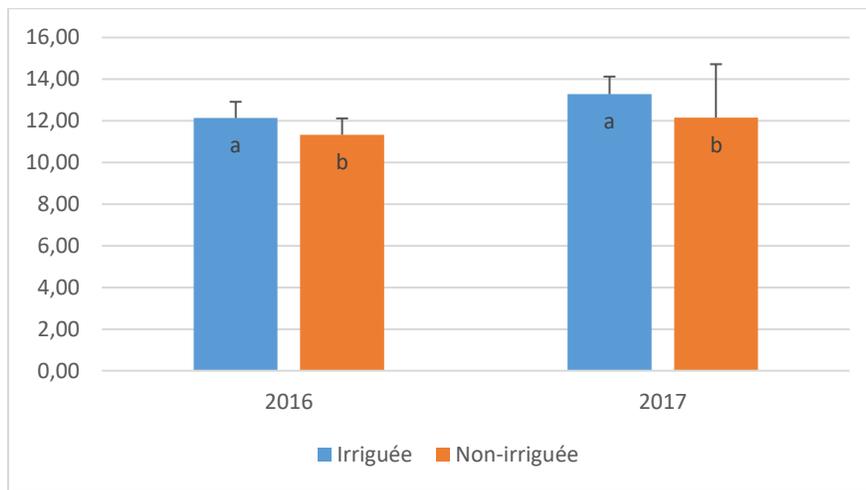


Figure 10. Comparaison entre la moyenne de la longueur des fruits des plants irrigués et des plants non-irrigués en 2016 et 2017

3.4.1.5 Le diamètre des fruits

En 2016 les fruits des arbres irrigués étaient significativement plus larges (2016: $t=27,103$; $ddl=3598$; $p<0,001$; 2017: $t=19,159$; $n=3439$; $p<0,001$). La moyenne du diamètre des fruits irrigués était de 8.4 mm et de 7.89 mm pour les non-irrigués en 2016. En 2017, c'était 8.76 mm avec irrigation et 7.94 mm sans irrigation. (Figure 11)

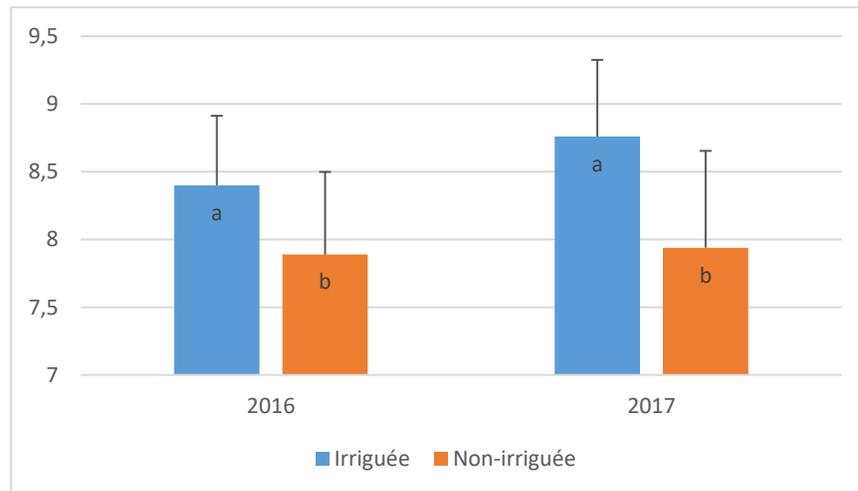


Figure 11. Comparaison entre la moyenne du diamètre des fruits des plants irrigués et des plants non-irrigués en 2016 et 2017

3.5 Synthèse des résultats

Pour permettre une compréhension rapide de l'impact de l'irrigation dans la culture de l'argousier, les deux tableaux ci-dessous résument la signifiante des résultats statistiques pour chacun des paramètres évalués et entre les traitements. Le premier tableau présente les impacts sur la croissance végétative (Tableau 1) et le deuxième, les impacts sur les rendements et les caractéristiques des fruits (Tableau 2).

Tableau 4. Synthèse des différences significatives pour la croissance végétative

Années	Longueur des nouvelles tiges (cm)		Diamètre des nouvelles tiges (mm)		Longueur des feuilles (cm)		Largeur des feuilles (cm)	
	irrigué	Non-irrigué	irrigué	Non-irrigué	irrigué	Non-irrigué	irrigué	Non-irrigué
2016	+	-	+	-	N/A	N/A	N/A	N/A
2017	=	=	+	-	+	-	+	-

Tableau 5. Synthèse des différences significatives pour les rendements et les caractéristiques des fruits

Années	Nb de fruits/cm de branche		Poids/cm de branche (g)		Poids de 100 fruits (g)		Longueur des fruits (mm)		Diamètre des fruits (mm)		°Brix	
	Irrigué	Non-irrigué	Irrigué	Non-irrigué	Irrigué	Non-irrigué	Irrigué	Non-irrigué	Irrigué	Non-irrigué	Irrigué	Non-irrigué
2016	=	=	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-
2017	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-

Légende

= : Il n'y a aucune différence significative

+: Il y a une différence significative positive pour le traitement concerné

- : Il y a une différence significative négative pour le traitement concerné

N/A : Le paramètre n'a pas été mesuré pour l'année en question.

4 Discussion

4.1 Pluviométrie et gestion de l'irrigation

En général, il y a eu plus de différences significatives en 2016 qu'en 2017. En raison de la saison sèche de 2016, les plants irrigués ont reçu beaucoup plus d'eau que les plants non irrigués. En 2017, la pluie plus abondante a atténué cette différence. Il y a eu 150 mm de pluie de plus qu'en 2016 entre le 1^{er} avril et le 30 septembre.

Les volumes calculés d'eau appliqués par l'irrigation en 2016 étaient plus élevés qu'en 2017. 348 litres par plant ont été appliqués en 2016 contre 294 litres par plant en 2017. En consultant les données des tensiomètres de 2016 (Annexe 1), les plants auraient dû recevoir 7 irrigations de plus. La saison 2016 a été plus sèche que 2017, ce qui est conforme avec le nombre d'irrigations. Les volumes réels reçus par chacun des plants peuvent différer en raison de la pente et de la densité du système racinaire des graminées qui se trouvaient à la base des plants. Malgré tout, la réaction des tensiomètres montre que l'eau a pu se rendre en profondeur jusqu'au bas de la zone racinaire.

4.2 Croissance végétative

L'argousier produit ses fruits sur le bois de 2 ans et la méthode de récolte utilisée consiste à tailler les branches fruitières. Il est à noter que la régie de récolte du producteur se fait généralement sur un cycle de 2-3 ans : 1-2 années de croissance végétative et une année de récolte. Les années végétatives permettent aux plants de se régénérer. Le projet a été mis sur pied à la 3^e année du cycle de production et la récolte a eu lieu en 2016. La méthode utilisée est plus sévère que la moyenne des producteurs. Les branches avec des ramifications chargées de fruits ont été taillées à une hauteur d'environ 1,5 m du sol. Celles qui s'étendaient dans l'allée et vers les autres plants ont aussi été taillées sur toute la longueur qui portait des fruits. La récolte intensive de 2016 a réduit considérablement le nombre de branches en 2017 et par le fait même, le nombre de bourgeons fruitiers. Ainsi, il y a eu un impact important sur la croissance et la production de fruits.

En 2016, les nouvelles tiges étaient plus longues de 86% et le diamètre plus élevé de 53% dans les parcelles irriguées en comparaison des parcelles non-irriguées. Ce qui représente des augmentations non seulement significatives, mais notables. Une suffisance en eau permet d'optimiser l'évapotranspiration et le transport des éléments nécessaires à la croissance de la plante.

L'eau apportée en 2016 dans les parcelles irriguées a permis de combler les besoins en eau pour optimiser le développement des nouvelles tiges. Les plants irrigués étaient probablement dans des conditions plus propices pour faire plus de réserves pour la saison suivante. Dans les parcelles non-irriguées, les plants devaient répartir le peu d'eau disponible entre les fruits et la végétation. Dans une telle situation, les arbustes fruitiers vont favoriser les fruits au détriment des parties végétatives (Farooq, 2016).

En 2017, la différence non significative entre les deux traitements, pour la longueur et le diamètre des nouvelles tiges, peut s'expliquer de deux façons. Premièrement, il y avait moins de fruits sur tous les plants, car il s'agissait de l'année après une grosse récolte par le producteur. Ainsi, les réserves d'énergie accumulées en 2016 ont pu être consacrées en 2017 essentiellement à la croissance végétative. N'ayant pas à supporter une charge fructifère, les plants non-irrigués ont pu consacrer leurs énergies au développement végétatif. Deuxièmement, en raison de pluies plus abondantes, les plants non irrigués ont reçu plus d'eau en 2017. Malgré tout, les plants irrigués avaient des feuilles plus longues et plus larges en 2017. Le feuillage semblait aussi plus foncé (Figure 12).



Figure 12. Comparaison visuelle entre une parcelle irriguée et une parcelle non-irriguée.

4.3 Qualité des fruits

Selon nos résultats, l'impact de l'irrigation s'observe surtout en matière de productivité et de qualité des fruits. Les fruits provenant des plants irrigués avaient un degré Brix 8.7% plus élevé en 2016 et 12.7% plus élevé en 2017, par rapport aux Brix des parcelles non irriguées. Le Brix est souvent utilisé pour évaluer le contenu en sucre d'un liquide, mais plusieurs autres substances solubles influencent ce paramètre (flavonoïdes, minéraux, etc.). La technique ne permet pas d'évaluer la proposition de chacun. On présume que la majorité des substances solubles sont des sucres, mais dans le cas de l'argousier, il y a probablement plusieurs autres composés, dont ceux qui lui procurent ses qualités nutraceutiques.

L'eau est souvent identifiée comme un facteur influençant la valeur du Brix (D. Kleinhenz, 2013). Une disponibilité réduite en eau a tendance à augmenter le Brix et aussi diminuer le rendement total par plant. Cette baisse de rendement est en partie attribuable à une plus faible teneur en eau des fruits. Dans cette expérience, le Brix et le poids moyen du fruit ont été améliorés. Ce résultat n'était pas attendu et va à l'encontre des résultats obtenus dans un projet de recherche semblable chez le bleuet en corymbe (Bryla, Yorgey, & Shireman, 2009). La meilleure croissance végétative dans les parcelles irriguées s'est possiblement traduite en une plus grande photosynthèse, et donc plus de substances solubles pour les fruits.

4.4 Caractéristiques physiques des fruits et rendement

L'utilisation du rendement total dans le cas d'arbres fruitiers présente différentes contraintes quand vient le temps de comparer l'impact de traitements expérimentaux. Le nombre de branches, la grosseur des plants et l'enracinement sont des facteurs qui peuvent faire varier énormément les rendements. Il peut être difficile de distinguer l'impact de ces facteurs de l'impact des traitements. Étant donné la technique de récolte utilisée dans la production d'argousier, l'hétérogénéité est encore plus importante. Un grand nombre de plants échantillonnés aurait pu permettre de distinguer l'impact des facteurs extérieurs de l'impact des traitements. Toutefois, l'ampleur du présent projet restreignait le nombre de plants total sur lequel évaluer le rendement. Il a donc été décidé d'effectuer la récolte et les mesures sur des portions de branches. Le rendement par centimètre ne peut pas être utilisé pour calculer le rendement total du plant. Il permet d'obtenir un rendement relatif entre les différents plants et ainsi de comparer l'impact des traitements. On peut extrapoler que des augmentations significatives au niveau du nombre et du poids des fruits par centimètre de branche ont normalement un impact direct et positif sur le rendement total.

En 2016 et 2017, pour chaque facteur de rendement évalué, les plants irrigués présentent des valeurs significativement supérieures aux plants non-irrigués, à l'exception du nombre de fruits par cm en 2016. Les moyennes des résultats significativement différents de 2016 et de 2017 combinés démontrent que les arbres irrigués avaient un poids des fruits par cm de branche 33.8% supérieur. Le diamètre et la longueur des fruits étaient aussi respectivement 8.2% et 8.4 % supérieurs à ceux des plants non-irrigués. Le poids de 100 fruits des plants irrigués était aussi plus élevé de 11%. On peut donc inférer que l'irrigation produit des fruits plus gros, plus lourds. Le nombre de fruits par centimètre de branche n'était pas significativement supérieur en 2016, mais il l'était en 2017 avec augmentation de 34.6%. L'initiation florale se produit l'année qui précède la production des fruits. Donc pour les fruits de 2016, l'initiation florale a eu lieu en 2015, alors que les plants n'étaient pas irrigués. Tandis que pour les fruits de 2017, l'initiation florale a eu lieu en 2016, alors que les plants étaient irrigués. On peut formuler l'hypothèse que l'irrigation de 2016 pourrait avoir influencé l'initiation florale, et ainsi entraîner un nombre supérieur de fruits par centimètre en comparaison avec les plants non-irrigués. Il est également possible que le nombre de fleurs par centimètre de branche était semblable dans toutes les parcelles en 2017, mais qu'il y ait eu plus d'avortement de jeunes fruits dans les parcelles non-irrigués. Les argouses peuvent avorter en grand nombre en périodes de stress.

Entre 2016 et 2017, il y a eu une baisse de la charge en fruit importante des plants, et ce, indépendamment du traitement en raison de la taille de récolte de 2016. Tout de même, les arbres irrigués ont démontré une plus grande productivité que les plants non-irrigués. Le nombre de fruits par cm, le poids par cm, le poids de 100 fruits, ainsi que la longueur et le diamètre des fruits sont tous significativement supérieurs pour les plants irrigués en comparaison aux plants non-irrigués. Il peut être supposé que les plants irrigués avaient des réserves pour permettre une production fruitière plus importante que les plants non-irrigués.

4.5 Analyse technico-économique

4.5.1 Méthodologie de l'analyse technico-économique partielle

L'analyse est appuyée sur les données spécifiques à l'entreprise agricole où a eu lieu l'expérimentation. Il faut donc adapter l'interprétation et les calculs selon la situation observée sur votre entreprise.

L'entreprise a établi son coût de production en 2015. Ces valeurs sont utilisées dans le cadre de l'analyse technico-économique sommaire. Nous utilisons les données de l'entreprise pour les critères suivants :

- Rendement par plant
- Récolte des fruits
- Congélation des fruits
- Égrappage des fruits
- Nettoyage des fruits

Concernant l'impact de l'irrigation, les gains de rendements sont ceux déterminés par le projet de recherche décrit dans la section résultats. Le coût du système d'irrigation provient d'une soumission effectuée auprès d'une entreprise spécialisée. Le temps nécessaire pour le fonctionnement et la gestion de l'irrigation a été discuté avec les exploitants de l'entreprise.

Ce qui est calculé et utilisé à titre de comparaison est la marge bénéficiaire partielle.

Une marge bénéficiaire, c'est la différence entre les produits (revenus) et les charges (dépenses).

La marge est partielle, car on ne tient pas compte de tous les revenus et de toutes les dépenses de l'entreprise. On tient seulement compte des aspects qui peuvent être touchés par une nouvelle acquisition. Dans ce cas-ci, le système d'irrigation. Les charges reliées à l'entretien normal des parcelles (tonte, désherbage, suivi agronomique, etc.) ne sont pas prises en compte dans l'analyse, car ils sont très similaires peu importe la productivité des plants. Les charges fixes ne sont pas non plus considérées (ex. : taxes, comptabilité, assurances, etc.).

4.5.2 Détails de l'analyse technico-économique partielle

Dans cette section, nous présentons les différentes données utilisées pour déterminer les revenus et les coûts liés à la récolte, au conditionnement et à l'irrigation.

Par la suite, nous évaluons l'impact de l'irrigation sur la marge bénéficiaire partielle.

Revenus retenus pour l'analyse :

- L'ensemble des fruits est vendu au marché du fruit congelé en gros volume, à un prix de 11 \$/kg.
- Verger de 4800 plants femelles, en récolte triennale. (Le tiers du nombre total des plants est récolté chaque année.)
- Rendement de base sans irrigation : 4480 kg récoltés sur 1600 arbres, donc une moyenne de 2,8 kg/arbre lors d'une récolte.
- Revenu annuel estimé : 49 280 \$

Pour adapter à la situation de votre entreprise, il faut tenir compte des autres facteurs influençant le prix, dont le rendement spécifique à votre entreprise, le marché du détail, la transformation en produits à valeur ajoutée, la certification biologique, etc. Il faut aussi ajouter les autres sources de revenus potentiels.

Charges reliées à la récolte et au conditionnement :

- Les seuls éléments qui sont influencés par la productivité des plants sont les tâches reliées à la récolte, à la congélation et au conditionnement des fruits. En ayant plus de fruits à gérer, plus de temps et plus d'espace de congélation sont nécessaires pour ces opérations.

4.5.2.1 Matériel, tâches et coûts reliés - sans irrigation

Récolte des fruits:

- Temps de récolte nécessaire : 6 minutes et demie par plant
- Nombre de plants récoltés : 1600
- Temps de récolte : 10 400 minutes, ou 173 heures
- Salaire horaire et utilisation du matériel lors de la récolte : 25 \$/heure
- Coût nécessaire pour la récolte de 4480 kg de fruits : 4325 \$

Congélation des fruits:

- Le producteur a calculé en 2015 un coût annuel d'utilisation du congélateur commercial de 3600 \$ (énergie et entretien). Ce montant est retenu pour la congélation de 4480 kg de fruits.

Égrappage des fruits:

- Avec les équipements disponibles sur l'entreprise, l'égrappage des fruits est effectué au rythme de 25 kg de fruits par heure.
- Pour la production annuelle, cela correspond à 179 heures. À un taux horaire de 25 \$ de l'heure (salaire, utilisation et entretien des équipements), le coût de cette opération est estimé à 4475 \$ pour 4480 kg de fruits.

Nettoyage des fruits:

- Avec les équipements disponibles sur l'entreprise, le nettoyage des fruits est effectué au rythme de 240 kg de fruits/heure.
- Pour la production annuelle, cela correspond à 19 heures. À un taux horaire de 25 \$ de l'heure (salaire, utilisation et entretien des équipements), le coût de cette opération est estimé à 475 \$ pour 4480 kg de fruits.

4.5.2.2 Matériel, tâches et coûts supplémentaires reliés à l'irrigation

Concernant l'irrigation, nous avons obtenu une soumission d'un fournisseur spécialisé dans les équipements d'irrigation adaptée pour l'entreprise.

- Boyau avec goutteurs compensateurs de pression intégrés BlueLine. 5/8" (18mm) 15 Mil 12" Spacing. 53gph. 25 000 pieds linéaires. 5750 \$
- Ensemble de pompe électrique Turboss 5hp et d'un système de filtration 3578 \$.
- 2 tensiomètres Irrometer 12 pouces : 257 \$
- 2 tensiomètres Irrometer 18 pouces : 267 \$
- Trousse de départ Irrometer : 74 \$
- Tuyauterie, quincaillerie, sortie électrique, installation : 2500 \$

Total pour l'achat et l'installation du système d'irrigation : 12 426 \$

Pour faciliter les calculs et la compréhension, tout l'équipement est amorti sur une période de 5 ans. Les coûts annuels ont été calculés à l'aide du DIRTA qui permet l'estimation des coûts annuels de possession d'un bien selon sa vie économique (dépréciation 19%, intérêt 2.4%, réparation et entretien 4%, taxes 0% et assurance 5.1%) (CRAAQ, 2007).

Le coût annuel est de 3790\$ pour le matériel d'irrigation sur une période de 5 ans.

Pour le fonctionnement du système d'irrigation et la gestion de l'eau, nous avons estimé avec l'entreprise témoin que 30 heures par année seraient à prévoir pour la gestion de l'eau. Ce temps représente l'entretien du système d'irrigation, la réparation des fuites, la vidange des tuyaux pour l'hiver, l'installation et le suivi des tensiomètres, le démarrage et l'arrêt des irrigations. En estimant un taux horaire de 15 \$/heure, le salaire pour la gestion de l'irrigation correspond à un coût annuel de 450 \$.

4.6 Résultats de l'analyse technico-économique

Avec les résultats obtenus dans le cadre du projet expérimental, nous avons analysé trois scénarios (Tableau 6).

- Scénario de base, selon les données du producteur (sans irrigation)

- Scénario 1 : + 10 % de fruits avec l'irrigation
- Scénario 2 : + 30 % de fruits avec l'irrigation

En supposant que l'augmentation du calibre aurait une incidence proportionnelle sur le rendement total d'un plant; donnée qui n'a pas été évaluée dans le projet. Le 10% a été retenu pour le premier scénario parce qu'il s'agit du pourcentage d'augmentation approximatif obtenu lors du projet pour les paramètres liés au calibre des fruits : le poids de 100 fruits, la longueur et le diamètre des fruits. Cette donnée a aussi été choisie pour simuler l'impact de l'irrigation dans des conditions moins sévères que celles de cette étude comme une texture de sol plus lourde ou des conditions climatiques différentes. Ce qui permet d'obtenir un portrait financier plus prudent de cet investissement.

- Le poids de 100 fruits - moyenne des années 2016 et 2017 (11,00 %) (Figure 11);
- La longueur des fruits – moyenne des années 2016 et 2017 (8,18 %) (Figure 12);
- Le diamètre des fruits – moyenne des années 2016 et 2017 (8,40 %). (Figure 13).

Le 30 % d'augmentation a été retenu pour le deuxième scénario, puisqu'il s'agit d'une valeur approximative de l'augmentation de la masse de fruits des plants irrigués telle que déterminée dans cet essai:

- Le poids par centimètre de branche – moyenne des années 2016 et 2017 (33,82 %) (Figure 10).

Pour cet exercice, lorsqu'il y a augmentation des rendements en fruits, nous considérons, selon nos estimations, que le temps de récolte, d'égrappage, de nettoyage et les coûts de congélation augmentent du même pourcentage. L'augmentation réelle du temps nécessaire pour le conditionnement des fruits supplémentaires obtenus par l'irrigation n'a pas été évaluée.

Tableau 6. Comparaison de l'augmentation de la marge partielle annuelle selon les 3 scénarios

	Sans irrigation	Scénario 1 - augmentation 10%	Scénario 2 - augmentation 30%
	Témoin	10%	30%
Revenus partiels			
Poids récolté par arbre (kg)	2,8	3,08	3,64
Prix de vente (\$/kg)	11	11	11
Nombre de plants femelles récoltés	1600	1600	1600
Rendement récolté (kg)	4480	4928	5824
Total des revenus partiels	49280	54208	64064
Dépenses partielles récolte-conditionnement			
Récolte	4325	4758	5623
Congélation	3600	3960	4680
Égrappage	4475	4923	5818
Nettoyage	475	523	618
Sous-total	12875	14163	16738
Coût annuel Système d'irrigation - Amortissement sur 5 ans		3790	3790
Salaire pour la gestion de l'irrigation	0	450	450
Sous-total annuel irrigation	0	4240	4240
Total récolte-conditionnement-irrigation	12875	18403	20978
Marge partielle	36405	35806	43087
% augmentation marge		-2%	18%
Augmentation de la marge partielle annuelle en dollars (\$)		-599,50 \$	6 681,50 \$

Nous observons qu'avec une augmentation de 10 % des rendements, la marge partielle annuelle diminue de 2 % pour les 5 premières années. Ce qui correspond à un déficit annuel de 599.50\$. Avec une augmentation de 30 % des rendements, la marge partielle annuelle augmente de 18 %. Ce qui correspond

à 6681.50\$ annuellement. La marge annuelle correspond aux revenus supplémentaires obtenus par la vente de plus de fruits, moins les charges supplémentaires que sont : la récolte et le conditionnement des fruits, l'achat et l'installation du système d'irrigation, l'utilisation et l'entretien du système d'irrigation. Dans l'exemple ci-dessus, on considère qu'après 5 ans, la totalité du système d'irrigation (la pompe, les tuyaux, les tensiomètres, etc.) doit être remplacée. Ce qui permet de dresser un portrait plus prudent de l'investissement. Dans la pratique, certains éléments comme la pompe peuvent être amortis sur une plus longue période. Ce qui réduirait les coûts annuels et augmenterait la marge partielle.

5 Conclusion

Dans cette étude, l'irrigation a un impact positif sur le développement du plant, sur la qualité et la quantité de la production fruitière de l'argousier. Ceci n'est pas surprenant pour un arbuste qui supporte une importante charge en fruits durant ce qui est typiquement une période de déficit hydrique. Les différences météorologiques observées entre les deux années ont permis d'observer la réaction des plants lorsqu'ils sont soumis à des stress hydriques importants comparativement à ce qu'ils sont en mesure de produire lorsque l'apport en eau est régulier. Malgré tout, l'irrigation a été bénéfique dans les deux cas. Le développement végétatif est plus important tout comme le rendement en fruits lorsque les arbres sont bien pourvus en eau. L'argousier à l'état sauvage est reconnu pour sa tolérance aux conditions sèches, mais lorsqu'on recherche une production fruitière optimale, comme c'est le cas pour l'argousier cultivé, l'irrigation apporte des bénéfices.

Pour l'entreprise qui a accueilli le projet, l'analyse technico-économique, évaluée à partir de la marge bénéficiaire partielle a permis de dresser un portrait de la situation. Un gain de 30% en fruits, obtenu avec l'utilisation d'un système d'irrigation, permettrait non seulement de rentabiliser l'achat, l'installation et l'entretien du système, mais dégagerait aussi un bénéfice supplémentaire. Par contre, un gain en fruits de seulement 10% n'est pas suffisant pour rentabiliser l'investissement dans le scénario présenté. Il ne faut pas oublier que l'exercice a été fait sur un seul site et seulement sur deux ans. Même si le taux d'augmentation du poids en fruits entre les parcelles irriguées et celles non irriguées est assez important pour considérer l'investissement dans un des scénarios de ce projet précis, d'autres essais seraient nécessaires pour valider ces résultats à plus long terme et dans des textures de sol et des conditions de champs différentes.

Au terme du projet, plusieurs éléments observés au cours des deux dernières années soulèvent des interrogations. Entre autres, il faudrait valider les effets de l'irrigation sur l'initiation florale et sur l'avortement des fruits au stade de nouaison. Il faudrait aussi plus d'observations et de mesures pour cerner l'impact de l'irrigation sur le de degré Brix des fruits. S'il y a réellement un effet positif, contrairement à ce qu'on peut observer dans le bleuets, il y aurait peut-être un effet sur les qualités nutraceutiques des fruits. Ce qui rendrait l'irrigation d'autant plus rentable.

6 Références

- Li, T., & Beveridge, . (2004). Production et utilisation de l'argousier (*Hippophae rhamnoides* L.). *Programme des monographies du CNRC*, p. 121.
- Agence QMI. (2017, août 27). *Bilan météo, l'été 2017 à oublier*. Récupéré sur Journal de Montréal: <http://www.journaldemontreal.com/2017/08/27/bilan-meteo-lete-2017-a-oublier-1>
- APAQ. (2017). *L'Argousier*. Consulté le 11 2017, sur L'association des producteurs d'argousier du Québec: <http://www.argousier.qc.ca/fra/la-culture-de-largousier/largousier.asp>
- Atlas agroclimatique du Québec. (2018). *P-EPT*. Consulté le 12 01, 2017, sur AgroMétéo Québec: http://www.agrometeo.org/index.php/atlas/map/probabilite_de_8_annees_sur_10/precipetp/1974-2003/false
- Bergeron, D., & Boivin, C. (2005). *Mieux irriguer avec les tensiomètres*. Québec: ministère de l'agriculture, des pêcheries et de l'alimentation du Québec.
- Boily, A. (2012, Février). *Le réfractomètre, cet incompris*. (MAPAQ, Éd.) Consulté le 12 2017, sur ministère de l'agriculture des pêcheries et de l'alimentation du Québec: <http://www.mapaq.gouv.qc.ca/fr/Regions/chaudiereappalaches/journalvisionagricole/autresarticles/acerculture/Pages/refractometre.aspx>
- Boivin, C. (2007). *L'influence de la régie d'irrigation, du cultivar et du type de paillis sur la disponibilité des nutriments : impacts sur la croissance végétative de six cultivars d'argousiers (Hippophae rhamnoides L.)*. Québec: Université Laval.
- Brown, L. (2015). *Survol des cultures émergentes : petits fruits et noix*. Cultur Innov.
- Bryla, D., Yorgey, B., & Shireman, A. (2009). Irrigation Management Effects on Yield and Fruit Quality of Highbush Blueberry. *Proceedings of the IXth International Symposium on Vaccinium, Acta Hort. 810, ISHS* .
- CRAAQ. (2007, septembre). AGDEX 824/825a - Loyer annuel fonds de terre, bâtiments, machinerie et équipement. Québec.
- D. Kleinhenz, M. R. (2013, janvier 18). USING °BRIX AS AN INDICATOR OF VEGETABLE QUALITY: LINKING MEASURED VALUES TO CROP MANAGEMENT. *Ohionline*. Ohio, États-Unis: Ohio State University.
- Farooq, M. e. (2016). Plant Drought Stress: Effects, Mechanisms and management. *Sustainable agriculture*. Springer Dordrecht.
- Impôt.net. (2017, 12 07). *Ammortissement d'un emprunt bancaire*. Récupéré sur <http://www.impot.net/fr/particuliers/emprunt/index.html>: <http://www.impot.net/fr/particuliers/emprunt/index.html>
- Info-sol. (2017, 11). *Montérégie Est*. Récupéré sur Informations géographiques sur les terres agricoles : <http://www.info-sols.ca/>

- K. Kalia, R., Singh, R., K. Rai, M., P.Mishra, G., R. Singh, S., & Dhawan, A. (2011, August). Biotechnological interventions in sea buckthorn (*Hippophae L.*): current status and future prospects. *Trees*, 25(4). doi:<https://doi-org.proxy3.library.mcgill.ca/10.1007/s00468-011-0543-0>
- Li, T. S., & Beveridge, T. H. (2004). *Production et utilisation de l'argousier (Hippophae rhamnoides L.)*. Ottawa: NRC research press.
- Lu, R. (1992). *Sea buckthorn: A multipurpose plant species for fragile mountains*. Katmandu: Int. Centre for Integrated Mountain Development.
- MDDELCC. (2017, Novembre). *Faits saillants- Août 2016 : le plus chaud en 70 ans dans le sud-ouest du Québec*. Récupéré sur Développement durable, développement et lutte contre les changements climatiques: <http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/climat/Faits-saillants/2016/aout.htm>
- MétéoMédia. (2016, septembre 9). *L'été 2016 dans le Top 10 des plus chauds*. Récupéré sur MétéoMédia: <https://www.meteomedia.com/nouvelles/articles/lete-2016-dans-le-top-10-des-plus-chauds-/71901>
- MétéoMédia. (2017, décembre 12). *Archives météo-Fréligsburg*. Récupéré sur Météo-Média: <https://www.meteomedia.com/ca/meteo/historical-weather/quebec/frelighsburg>
- Papilles. (2015, 03 11). *Papilles conférences, Potentiel de marché argousier du Québec*. Récupéré sur ministère de l'agriculture des pêcheries et de l'alimentation du Québec: <https://www.mapaq.gouv.qc.ca/SiteCollectionDocuments/Regions/SaguenayLacStJean/argousierauQuebec.pdf>
- Turcotte, C. (2018, janvier 17). Communication personnelle. Québec.
- Vernet, A. (2004). L'argousier (*Hippophae rhamnoides L.*). *Phytothérapie*, 4(3). doi:<https://doi-org.proxy3.library.mcgill.ca/10.1007/s10298-006-0167-5>

Annexes

Annexe 1 – Tableaux des données de tensiomètres 2016 et 2017

Les cases en bleus correspondent aux tensiomètres situés dans les parcelles irriguées. Les cases en rouge signifient qu'il y aurait probablement dû y avoir une irrigation de plus la journée précédente, mais la lecture des tensiomètres n'avait pas été notée.

No de tensiomètres	Témoïn	Parcelle irriguée 1		Parcelle irriguée 2		Témoïn	Parcelle irriguée 3		Témoïn	Irrigation		
	1	2 (Court)	3 (Long)	4 (Court)	5 (Long)	6	7 (Court)	8 (Long)	9	(O/N)	Début	Fin
Lectures tensiomètres (cb)												
Date	mai-16											
16	61	7	14	17	30	82	12	13	87	N		
17	62	22	44	42	50	81	24	42	80	O	13h45	15h30
24	67	8	16	18	31	83	13	19	82	N		
25	68	24	47	50	60	86	15	60	91	O	9h45	12h00
28	72	24	39	43	58	87	15	45	90	O	9h30	12h00
juin-16												
1	42	6	10	10	25	74	3	10	70	O	9h30	11h30
3	53	8	15	12	4	70	4	12	70	O	9h30	12h55
4	52	7	11	8	22	72	3	10	73	N		
5	61	8	14	12	25	74	10	12	74	O	10h25	12h25
7	13	0	12	10	24	13	2	10	25	N		
9	2	3	10	9	24	0	3	11	60	N		
10	7	6	10	11	25	3	5	13	32	N		
12	12	4	12	12	26	13	8	13	21	N		
14	14	6	15	15	28	19	13	17	38	N		
16	22	10	22	21	46	43	21	24	74	N		
17	27	23	29	26	35	49	29	30	79	O	8h30	11h30
20	52	24	35	38	45	78	43	36	84	O	14h15	16h15
juil-16												
1	80	25	42	46	61	83	8	50	91	O	8h00	10h30
3	81	9	25	32	45	88	0	33	92	N		
4	81	28	42	64	71	88	0	46	92	O	8h00	10h30
5	80	50	72	74	88	86	-	73	90	O	11h00	13h30
7	79	12	23	30	41	84	-	20	90	N		
8	81	5	14	16	28	86	-	12	92	N		
10	76	10	24	20	64	82	-	32	84	N		
12	77	23	55	54	71	75	-	54	86	O	9h00	11h30
15	80	0	13	15	31	75	7	12	16	O	8h30	11h30
17	80	29	48	58	69	80	32	28	70	O	12h00	14h15
18	80	6	20	24	46	82	16	15	80	N		
20	67	14	26	35	46	50	18	21	38	O	11h00	14h30
22	69	17	30	36	34	77	23	16	83	O	8h30	11h30
24	66	3	13	13	27	55	6	14	17	N		
27	69	30	42	38	39	52	24	27	39	O	8h40	11h10
août-16												
1	72	76	82	83	87	85	76	84	89	O	10h20	12h20
2	75	20	37	47	65	89	74	21	93	O	9h00	12h00
3	80	80	85	86	91	87	79	87	94	O	8h35	11h35
6	79	75	86	83	95	86	68	80	92	O	11h30	13h30
9	80	37	68	66	85	87	29	37	94	O	8h45	11h30
11	82	61	84	81	87	87	54	69	95	O	8h30	11h30
15	76	0	11	5	23	4	5	11	10	N		
16	59	8	12	12	25	10	11	11	15	N		
19	7	2	12	10	23	8	6	10	13	N		
21	11	22	22	21	28	18	20	22	20	O	10h00	12h00
23	5	2	11	10	22	7	9	17	11	N		
26	11	19	20	19	28	19	29	42	23	N		
28	17	52	41	40	35	44	59	80	44	O	12h00	14h30
30	12	25	23	25	32	25	73	83	47	O	10h30	14h30
31	15	7	12	12	24	33	78	84	40	N		
sept-16												
1	14	13	18	21	30	34	78	76	40	N		
6	49	51	51	65	47	77	86	89	85	O	8h35	10h15
9	52	36	45	69	54	79	85	85	91	O	8h50	10h30
13	58	11	27	55	41	0	36	58	60	O	8h15	9h55
16	64	46	52	63	51	8	70	84	88	O	9h00	10h40

No de tensiomètres	Témoïn 1	Parcelle irriguée 1		Parcelle irriguée 2		Témoïn 2	Parcelle irriguée 3		Témoïn 3	Irrigation		
	1	2 (Court)	3 (Long)	4 (Court)	5 (Long)	6	7 (court)	8 (Long)	9	O/N	Début	Fin
Lectures tensiomètres (cb)												
Date	mai-17											
26	2	0	13	0	13	0	6	9	3	N		
27	4	0	13	9	13	8	8	11	5	N		
28	10	11	16	14	13	13	11	14	11	O	11H30	13H15
29	10	0	10	9	10	14	8	10	13	O	8H45	11H15
30	10	0	8	4	11	16	5	9	14	O	9H45	11H15
31	12	0	9	4	9	18	8	8	16	N		
juin-17												
1	14	2	10	10	10	23	10	10	20	N		
2	16	10	11	18	13	25	14	11	27	N		
3	10	8	11	10	13	18	13	10	23	N		
4	14	10	14	16	14	26	14	15	26	N		
5	9	8	11	12	10	20	10	11	20	N		
6	4	2	9	6	8	5	7	10	6	N		
7	3	0	8	3	5	3	4	8	1	N		
8	6	8	10	6	7	8	7	9	7	N		
9	10	3	12	17	11	15	12	11	9	N		
11	17	26	16	37	18	24	20	17	19	O	10H30	13H30
12	22	2	10	12	11	33	9	10	26	N		
13	30	18	14	42	20	55	19	12	40	O	8H45	10H45
14	44	6	12	24	18	56	12	10	61	N		
15	48	25	18	50	28	72	25	15	70	N		
16	0	0	17	0	28	0	0	13	0	N		
17	3	0	9	0	15	8	5	10	3	N		
18	10	5	11	4	18	12	10	14	6	O	10H30	13H30
20	8	4	10	10	14	14	8	10	10	N		
22	15	7	10	20	21	17	13	11	22	N		
26	5	5	13	14	36	20	12	13	18	N		
29	15	27	17	28	67	22	19	16	53	O	8H30	11H30
juil-17												
3	4	2	9	10	10	3	5	10	3	N		
5	16	21	14	25	14	15	15	14	20	N		
6	22	21	20	28	24	22	22	18	24	O	8H30	12H30
10	7	10	8	12	12	20	10	9	9	N		
11	7	10	11	12	13	8	11	11	26	N		
12	9	14	11	17	15	12	11	14	34	N		
17	14	30	20	52	30	49	23	20	27	O	10H30	13H30
18	14	4	9	14	14	23	8	9	65	N		
19	26	20	18	44	26	32	19	14	58	O	15H00	17H00
20	23	4	10	13	14	36	8	9	84	N		
21	28	4	16	22	22	84	14	12	48	N		
22	38	25	23	54	42	84	34	17	62	O	11H	14H
25	34	11	17	20	32	29	19	12	86	N		
26	39	21	21	46	44	70	27	20	54	N		
27	37	28	28	60	54	58	32	20	82	O	8H30	11H30
28	45	9	14	18	18	82	10	10	58	N		
31	55	30	50	77	70	88	65	28	75	O	9H00	12H00
août-17												
3	84	10	32	56	30	92	15	16	83	O	11H00	14H00
4	85	8	20	35	24	82	13	13	92	N		
7	10	8	11	18	19	20	14	10	13	N		
8	17	15	19	30	30	24	23	16	38	O	9H00	12H00
10	40	15	20	37	48	54	24	14	77	O	10H15	13H15
15	61	46	73	73	75	67	60	30	79	O	9H30	12H30
17	75	18	29	41	20	76	31	18	90	O	8H40	12H40
21	8	10	18	14	24	54	20	14	25	N		
22	12	25	30	32	40	53	42	20	65	O	8H45	11H45
24	4	2	8	10	10	8	12	9	12	N		
25	8	3	11	14	12	18	20	12	14	N		
29	21	30	36	60	34	73	73	24	74	O	10H45	16H30
11-sept	4	9	10	15	11	5	17	12	12	N		