

Gestion de l'irrigation par tensiométrie dans la culture du bleuet en corymbe

Projet 5071

Demandeur :
Club Conseil du Corymbe

Rapport final

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



Avec la collaboration de
Daniel Bergeron, agr. - MAPAQ
Aline Germain, tech. - IRDA
Julie Bouchard, agr. - IRDA

Mai 2008

PROGRAMME D'APPROVISIONNEMENT EN EAU CANADA-QUÉBEC

Ce programme est issu du Cadre stratégique pour l'agriculture.



Agriculture et
Agroalimentaire Canada

Agriculture and
Agri-Food Canada

**Agriculture, Pêcheries
et Alimentation**

Québec



Pour plus d'information :



Table des matières

1	DESCRIPTION DU PROJET	5
1.1	INTRODUCTION	5
1.2	OBJECTIF GÉNÉRAL	6
1.3	OBJECTIFS SPÉCIFIQUES	6
1.4	ATTEINTE DES OBJECTIFS	6
1.5	ÉTAPES ET ÉCHÉANCES	7
1.6	DIFFICULTÉS RENCONTRÉES ET SOLUTIONS APPORTÉES	7
2	RÉSULTATS ET ANALYSE	8
2.1	MISE EN PLACE DE L'EXPÉRIENCE	8
2.2	TRAITEMENTS	8
2.3	DISPOSITIFS EXPÉRIMENTAUX	8
2.4	COLLECTE DES DONNÉES	8
2.5	ANALYSES STATISTIQUES DES DONNÉES	9
2.6	RÉSULTATS OBTENUS SELON LES OBJECTIFS SPÉCIFIQUES	9
2.6.1	Portrait des pratiques culturelles ayant trait à l'irrigation dans les bleuetières desservies par le Club conseil du Corymbe	9
2.6.2	Impacts de la régie d'irrigation pilotée par tensiométrie par rapport à celle du producteur	10
2.6.3	Identifier la demande maximale en eau d'une bleuetière et quantifier le volume correspondant, pour un site et une saison donnés, afin d'être en mesure d'évaluer les spécifications minimales d'un système d'irrigation	12
2.6.4	Optimiser l'utilisation de la ressource « eau »	12
2.6.5	Augmenter la rentabilité des entreprises du secteur du bleuet en corymbe	12
2.7	ÉLÉMENTS QUI ONT ASSURÉ LA RÉUSSITE DU PROJET	25
2.8	BIENS LIVRÉS	25
3	IMPACTS	25
3.1	IMPACTS SUR LE SECTEUR	25
3.2	PÉRENNITÉ DU PROJET	25
3.3	DIFFUSION DES RÉSULTATS	26
4	REMERCIEMENTS	27
5	RÉFÉRENCES	27
6	PLAN DE FINANCEMENT ET CONCILIATION DES DÉPENSES	28

Liste des annexes

ANNEXE 1. Échantillons DE3P520, DE7P520 et DE12P520.....	29
ANNEXE 2. Échantillons MO5P520, MO10P520 et MO13P520.	32
ANNEXE 3. Échantillons GI12P520, GI12P2520 et GI15P520.....	35
ANNEXE 4. Pluviométrie mesurée sur les sites à l'étude.....	38
ANNEXE 5. Revue de littérature.....	41

Liste des tableaux

Tableau 1. Type de sol et âge des plants à l'étude pour les trois sites.....	8
Tableau 2. Volume total d'eau (m ³ /ha) apporté par l'irrigation et la pluie et nombre d'irrigations selon le site et la région.....	10
Tableau 3. Propriétés physiques des échantillons de sol prélevés sur le site Delisle.	17
Tableau 4. Propriétés physiques des échantillons de sol prélevés sur le site Moreau.	19
Tableau 5. Propriétés physiques des échantillons de sol prélevés sur le site Giard.	21
Tableau 6. Estimation du temps d'irrigation pour combler la RFU selon le site et les caractéristiques des sites à l'étude.	23

Liste des figures

Figure 1. Rendements moyens en fruits (kg/ha) en fonction du site et de la région.....	10
Figure 2. Calibre moyen des fruits (g) en fonction du site et de la région.....	11
Figure 3. Conductivité hydraulique non saturée, échantillon MO 13 P520.....	13
Figure 4. Courbes de rétention d'eau en désorption et en sorption, échantillon MO13P520.	15
Figure 5. Tension de l'eau dans le sol pour les mois de juillet et août pour le site Delisle.	18
Figure 6. Tension de l'eau dans le sol pour les mois de juillet et août pour le site Moreau.	20
Figure 7. Conductivité hydraulique non saturée, échantillon GI15P520.....	22
Figure 8. Tension de l'eau dans le sol pour les mois de juillet et août pour le site Giard.	22
Figure 9. Courbe de rétention d'eau en désorption et en sorption, échantillon DE3P520.....	29
Figure 10. Courbe de rétention d'eau en désorption et en sorption, échantillon DE7P520.....	29
Figure 11. Courbe de rétention d'eau en désorption et en sorption, échantillon DE12P520.....	30
Figure 12. Conductivité hydraulique non saturée, échantillon DE3P520.....	30
Figure 13. Conductivité hydraulique non saturée, échantillon DE7P520.....	31
Figure 14. Conductivité hydraulique non saturée, échantillon DE12P520.....	31
Figure 15. Courbe de rétention d'eau en désorption et en sorption, échantillon MO5P520.....	32
Figure 16. Courbe de rétention d'eau en désorption et en sorption, échantillon MO10P520.....	32
Figure 17. Courbe de rétention d'eau en désorption et en sorption, échantillon MO13P520.....	33
Figure 18. Conductivité hydraulique non saturée, échantillon MO5P520.....	33
Figure 19. Conductivité hydraulique non saturée, échantillon MO10P520.....	34
Figure 20. Conductivité hydraulique non saturée, échantillon MO13P520.....	34
Figure 21. Courbe de rétention d'eau en désorption et en sorption, échantillon GI12P520.	35
Figure 22. Courbe de rétention d'eau en désorption et en sorption, échantillon GI12P2520.....	35
Figure 23. Courbe de rétention d'eau en désorption et en sorption, échantillon GI15P520.	36
Figure 24. Conductivité hydraulique non saturée, échantillon GI12P520.....	36
Figure 25. Conductivité hydraulique non saturée, échantillon GI12P2520.....	37
Figure 26. Conductivité hydraulique non saturée, échantillon GI15P520.....	37
Figure 27. Pluviométrie mesurée sur les sites à l'étude du 28 mai au 30 juin 2007.....	38
Figure 28. Pluviométrie mesurée sur les sites à l'étude en juillet 2007.....	38
Figure 29. Pluviométrie mesurée sur les sites à l'étude en août 2007.	39
Figure 30. Pluviométrie mesurée sur les sites à l'étude en septembre 2007.....	39
Figure 31. Pluviométrie mesurée sur les sites à l'étude en octobre 2007.	40

1 DESCRIPTION DU PROJET

1.1 Introduction

Les bleuets sont la principale culture fruitière au Canada en terme de superficie, et ce, depuis 1996 où elle a dépassé celle des pommes. De plus, les bleuets venaient au deuxième rang des productions fruitières en 2004 en terme de valeur à la ferme avec des recettes de 137,1M \$. Le Canada est d'ailleurs le plus gros pays exportateur de bleuets au monde avec 37 % des parts du marché. Une part élevée de la production est ainsi acheminée vers les États-Unis qui est le principal importateur mondial de bleuets (Canada 3^e) (Statistique Canada 2006).

Au Canada, on retrouve deux types de bleuets, soit le bleuet nain et celui en corymbe. La baie de ce dernier est plus grosse et les rendements sont sept fois plus élevés pour une même superficie comparativement au bleuet nain (Statistique Canada 2006). Au Québec, le bleuet nain est cultivé principalement dans la région du Saguenay-Lac-St-Jean. Les superficies de bleuets en corymbe, constituées à plus de 60 % du cultivar 'Patriot', sont quant à elles implantées en Montérégie, Québec et Chaudière-Appalaches (AAC 2007). Si à la fin des années 60, les superficies de bleuets en corymbe étaient inférieures à 1 ha (Gosselin 2002), elles ont par la suite atteint 60 ha en 1992, puis 192 ha en 2004 (MAPAQ 2006). Dans la même lignée, les projections sont de 260 ha pour 2008 et de plus de 340 ha en 2013 (Strik et Yarborough 2005).

Le bleuet en corymbe, qui se développe bien dans les sols légers de texture sablonneuse ou graveleuse, a la particularité d'avoir un système racinaire peu développé, restant superficiel, avec peu de racelles, ce qui le rend sensible au manque d'eau. Conséquemment, la teneur en eau de ces sols, dont la texture entraîne un drainage rapide, peut devenir rapidement un facteur limitant pour le développement de la plante. À l'inverse, lorsque l'eau disponible dépasse la capacité de rétention du sol en eau, celle-ci peut devenir une source de pollution diffuse si elle est chargée en azote.

La gestion de la quantité d'eau appliquée est un paramètre déterminant de l'efficacité de l'irrigation. Idéalement, la décision de démarrer l'irrigation devrait être basée sur des mesures effectuées directement sur les plantes, mais de telles mesures sont complexes et coûteuses. Cette décision peut néanmoins se baser sur des mesures de disponibilité de l'eau dans le sol. Ainsi, les mesures prises avec des tensiomètres s'avèrent une alternative abordable et adaptée au contexte de production commerciale. Cette pratique est peu répandue au Québec où la décision d'irriguer ou non est le plus souvent prise selon la règle « du pouce d'eau par semaine », sans égard aux caractéristiques physiques des sols et aux différents facteurs cultureux.

1.2 Objectif général

Ce projet vise à régulariser et à augmenter les rendements commercialisables dans la culture du bleuet en corymbe par une gestion tensiométrique de l'irrigation, tout en préservant la qualité de l'environnement par une utilisation optimale de l'eau.

1.3 Objectifs spécifiques

- Dresser un portrait des pratiques culturelles ayant trait à l'irrigation dans les bleuetières desservies par le Club conseil du Corymbe.
- Évaluer les impacts d'une régie d'irrigation pilotée par tensiométrie par rapport à une gestion basée sur la règle du « pouce d'eau par semaine ».
- Identifier la demande maximale en eau d'une bleuetière et quantifier le volume correspondant, pour un site et une saison donnés, afin d'être en mesure d'évaluer les spécifications minimales d'un système d'irrigation.
- Optimiser l'utilisation de la ressource « eau ».
- Augmenter la rentabilité des entreprises du secteur du bleuet en corymbe.

1.4 Atteinte des objectifs

La consultation effectuée auprès des membres du Club conseil du Corymbe a permis de dresser un portrait des pratiques ayant trait à la gestion de l'irrigation dans le bleuet en corymbe. En effet, la gestion de l'irrigation se fait généralement sans connaître les propriétés physiques et sans l'utilisation d'outils de mesure de l'état hydrique du sol.

Pour l'année en cours, la gestion tensiométrique de l'irrigation a permis d'obtenir un rendement et un calibre de fruits équivalant à ceux obtenus avec la gestion du producteur, et ce, avec l'application d'un volume d'eau plus faible. Toutefois, comme les bourgeons floraux se forment à l'automne, les conditions hydriques du sol à ce moment peuvent influencer les rendements de l'année suivante. Conséquemment, il faut demeurer prudent quant à l'interprétation de ces résultats.

La caractérisation des principales propriétés physiques du sol a permis de déterminer la capacité de rétention en eau des sols de trois bleuetières. De plus, cette caractérisation a permis d'établir des valeurs de tension de l'eau dans le sol où, théoriquement, le déclenchement et la durée des irrigations assurent une disponibilité en eau adéquate pour la plante. La gestion de l'eau d'irrigation, lorsqu'elle est basée sur de tels critères décisionnels, permet une utilisation rationnelle de l'eau et une optimisation du processus.

1.5 Étapes et échéances

Activités réalisées de avril 2007 à mars 2008.

Avril 2007

Revue de littérature
Planification des essais
Élaboration du protocole
Commande du matériel

Mai 2007

Rencontre avec les producteurs
Mise en place des essais
Embauche d'un contractuel

Mai-octobre 2007

Conduite des essais et collecte des données

Décembre 2007 – mars 2008

Compilation, analyses et interprétation des données
Rédaction du rapport final
Diffusion des résultats (voir section)

1.6 Difficultés rencontrées et solutions apportées

Les principales difficultés découlent du délai de livraison des équipements (tensiomètres, pluviomètres et sondes pour mesurer la température et l'humidité relative de l'air). Conséquemment, certaines données climatiques de stations météorologiques environnantes ont été utilisées pour combler les données manquantes.

2 RÉSULTATS ET ANALYSE

2.1 Mise en place de l'expérience

Le projet était d'une durée d'un an et s'est déroulé en Montérégie, à la Ferme Équinoxe située à Saint-Pie, à la bleuétière Les Delisles de Brigham et à la Bleuétière Érablière Giard de Granby. Le cultivar retenu était 'Blueray' et la densité de plantation était de 2 222 plants/ha. Les caractéristiques des trois sites sont présentées au tableau suivant.

Tableau 1. Type de sol et âge des plants à l'étude pour les trois sites.

Site	Type de sol	Âge des plants (année)
Delisle	Loam sablo-argileux	25
Moreau	Loam	15
Giard	Loam sableux grossier	25

2.2 Traitements

Les traitements consistaient en deux régies d'irrigation appliquées avec un système de type goutte-à-goutte. Ces deux régies comprenaient celle du producteur (T1) et une seconde basée sur des mesures de disponibilité en eau du sol, soit par suivi tensiométrique (T2). La tension à laquelle l'irrigation était déclenchée pour le T2 correspondait à la valeur de tension équivalente à la capacité au champ propre à chacun des 3 sites, à laquelle 15 centibars (cbar) ou kilopascals (kPa) ont été additionnés.

2.3 Dispositifs expérimentaux

Les dispositifs ont été établis selon un plan en blocs complets aléatoires (3 blocs). Les parcelles étaient constituées de 10 plants avec un rang de garde chaque côté.

2.4 Collecte des données

La pluviométrie (pluviomètre HOBO, modèle RG3-M), la température, l'humidité relative de l'air (HOBO Pro v2, modèle U23-001) et la disponibilité en eau du sol (tensiomètre, Irrrometer® 0-100 cbar ou kPa) ont été mesurées tout au long de la saison. Une caractérisation du sol a été entreprise afin de connaître la texture des sols en question, leur fertilité et certaines de leurs propriétés physiques. Les courbes de rétention en eau et celles de la conductivité hydraulique non saturée ont été établies en laboratoire (Boily et coll. 2008). Les rendements en fruits et leur calibre ont été mesurés sur trois arbres par parcelle. Enfin, au terme de la saison 2007, les entreprises membres du Club conseil ont été invitées à répondre à un questionnaire portant sur leurs façons de faire en ce qui a trait à la gestion de l'irrigation de leur bleuétière.

2.5 Analyses statistiques des données

Les rendements en fruits et le calibre de ces derniers ont été analysés avec la procédure Mixte de SAS.

2.6 Résultats obtenus selon les objectifs spécifiques

2.6.1 Portrait des pratiques culturales ayant trait à l'irrigation dans les bleuetières desservies par le Club conseil du Corymbe

Le portrait suivant a été dressé avec les renseignements obtenus de 16 entreprises membres du Club conseil du Corymbe. Les résultats de la première partie du questionnaire renseignent sur l'âge moyen des bleuetières qui est de 15 ans, dont la doyenne a 35 ans. Aussi, la plupart des cultivars disponibles commercialement sont présents. Enfin, la nature des sols en culture est également répartie de légers à lourds.

La seconde partie du questionnaire a permis d'apprendre que l'ensemble des entreprises sondées ont les infrastructures nécessaires pour irriguer et qu'elles sont généralement équipées d'un système de type goutte-à-goutte (14/16). L'eau utilisée provient de puits (3/16), de rivières (3/16) ou d'étangs (10/16). La durée des irrigations varie de 75 minutes à 8 heures dont la moitié est d'une durée de 4 heures ou plus. Le nombre d'irrigations effectuées dans chacune des bleuetières durant la saison de production 2007 varie d'aucune jusqu'à 30 et est inférieur à 10 pour la moitié d'entre elles. De plus, la gestion de l'irrigation se fait sans outils permettant d'évaluer la disponibilité ou la teneur de l'eau dans le sol et est généralement basée sur les conditions climatiques ou sur une fréquence hebdomadaire préétablie.

Ce portrait sommaire des pratiques culturales ayant trait à la gestion de l'irrigation permet de constater deux faits importants. En effet, plusieurs bleuetières sont implantées dans des sols lourds, alors que la littérature fait mention de la nature légère et bien drainée des sols généralement utilisés dans cette production. Cet exercice renseigne aussi sur l'absence d'outils permettant de mesurer l'état hydrique des sols en culture. En effet, la décision de déclencher le système d'irrigation et de la durée de ces épisodes fait habituellement abstraction de la disponibilité de l'eau pour la plante et du volume nécessaire à appliquer pour combler le besoin, s'il y a lieu, au moment d'irriguer.

2.6.2 Impacts de la régie d'irrigation pilotée par tensiométrie par rapport à celle du producteur

Les apports d'eau (m³/ha) par les précipitations et les irrigations pour chacun des trois sites sont présentés au tableau 2. Sont également présentés dans ce tableau, le nombre d'irrigations effectuées et le volume total d'eau reçu par les plants selon le traitement et le site.

Tableau 2. Volume total d'eau (m³/ha) apporté par l'irrigation et la pluie et nombre d'irrigations selon le site et la régie.

Site	Régie Producteur (P) Tensiomètre (T)	Volume d'eau apporté (m ³ /ha)			Nombre d'irrigations
		Irrigation	Pluie ¹	Total	
Delisle	P	262	4 732	4 994	13
	T	90	4 732	4 822	3
Moreau	P	718	4 742	5 460	13
	T	29	4 742	4 771	1
Giard	P	391	5 446	5 837	9
	T	76	5 446	5 522	4

Les rendements obtenus avec les deux régies d'irrigation pour les trois sites sont présentés à la figure suivante. Les rendements mesurés pour les sites « Delisle », « Moreau » et « Giard », sont respectivement de 4 409, 3 313 et 11 508 kg/ha avec la régie producteur et de 4 618, 4 518 et 11 306 kg/ha avec la régie tensiométrique. Toutefois, pour l'ensemble des sites, les différences observées ne sont pas significativement différentes (n.s.).

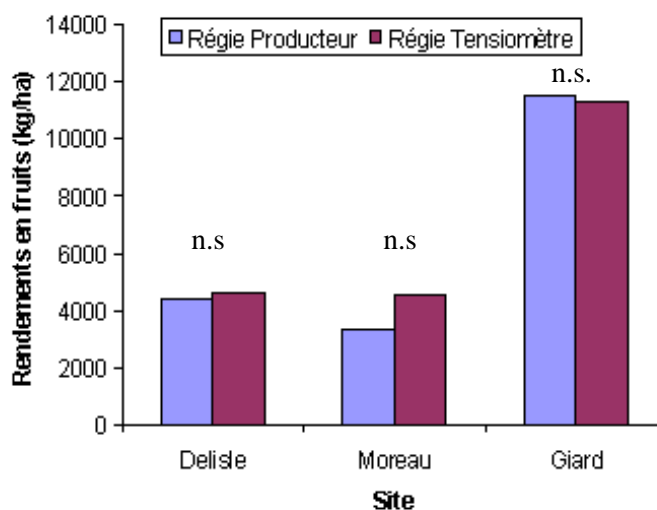


Figure 1. Rendements moyens en fruits (kg/ha) en fonction du site et de la régie.

¹ 28 mai au 31 octobre 2007

Le nombre de fruits par tasse pour les trois sites est présenté à la figure 2. Pour les sites « Delisle », « Moreau » et « Giard » le nombre de fruits par tasse est respectivement de 74,3, 79,1 et 80,7 avec la régie producteur et de 67,5, 75,9 et 88,5 avec la régie tensiométrique. Pour l'ensemble des sites, les différences observées ne sont pas significativement différentes (n.s.).

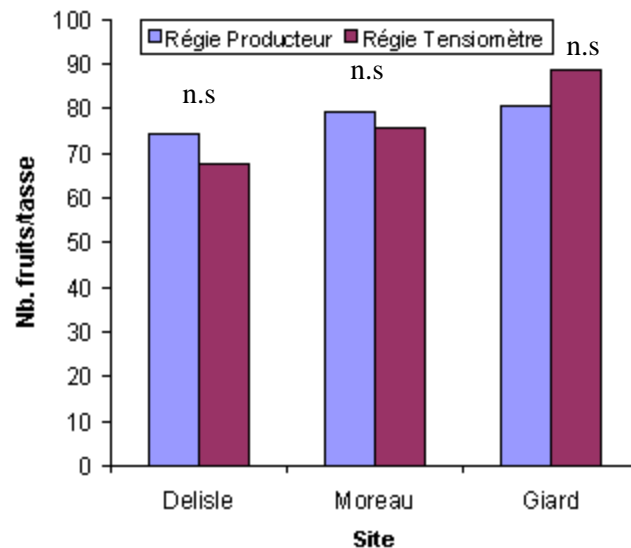


Figure 2. Calibre moyen des fruits (g) en fonction du site et de la régie.

En conclusion, les rendements vendables et le calibre des fruits n'ont pas été différents selon la régie d'irrigation employée. Toutefois, la fréquence et la durée des irrigations pour le traitement « régie du producteur » ont été plus élevées. Concrètement, les volumes d'eau plus importants appliqués avec la régie du producteur n'ont pas permis de réaliser de gains en rendement et en calibre. Cependant, étant donné la durée du projet (un an), il est impossible de mesurer l'impact de ces traitements sur le rendement en fruits de la saison 2008, les bourgeons floraux étant formés la saison précédant la mise à fruit. Conséquemment, l'interprétation de ces résultats doit être faite avec réserve.

2.6.3 Identifier la demande maximale en eau d'une bleuetière et quantifier le volume correspondant, pour un site et une saison donnés, afin d'être en mesure d'évaluer les spécifications minimales d'un système d'irrigation

2.6.4 Optimiser l'utilisation de la ressource « eau »

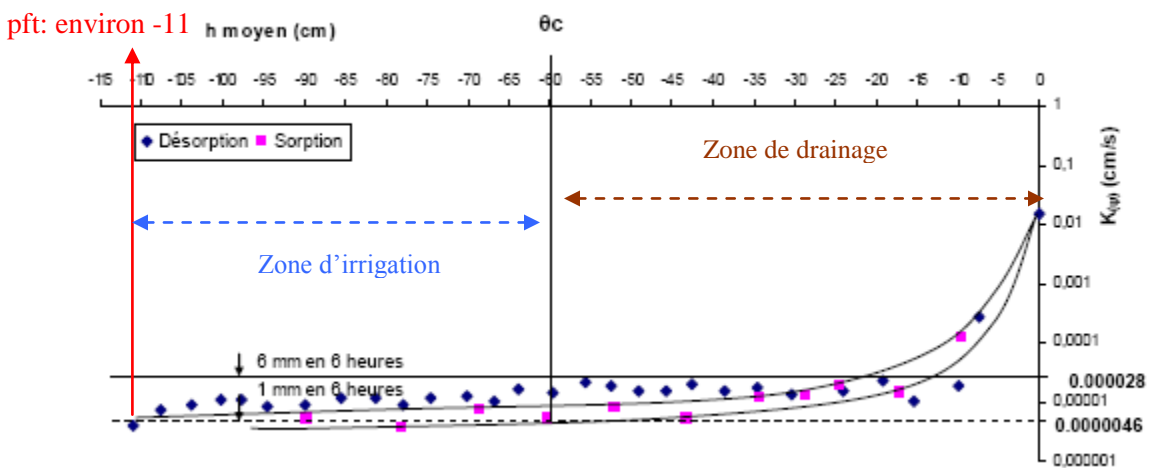
2.6.5 Augmenter la rentabilité des entreprises du secteur du bleuet en corymbe

Les analyses effectuées sur les échantillons de sol prélevés dans les trois sites au cours de la saison ont permis de déterminer certaines propriétés hydrauliques importantes, telles les courbes de rétention et de conductivité hydraulique non saturée et saturée, ainsi que certains paramètres physiques tels que la masse volumique apparente et réelle et la porosité totale. Ces informations sont indispensables pour mieux connaître le mouvement de l'eau dans ces sols afin d'optimiser la gestion de cette ressource. Ces différents paramètres seront discutés et les informations qu'ils apportent pour chacun des sites seront interprétées.

2.6.5.1 Courbe de conductivité hydraulique non saturée

La courbe de conductivité hydraulique non saturée décrit la facilité avec laquelle l'eau se déplace dans le sol en fonction de la succion de l'eau du sol, appelée potentiel matriciel. La conductivité hydraulique dépend de la tension, car un sol ayant une faible tension contient beaucoup d'eau et permet le déplacement rapide de cette eau, alors qu'un sol ayant une forte tension, donc très sec, permet seulement le déplacement de l'eau au ralenti. Cette propriété unique à chaque sol est importante pour estimer les pertes d'eau dans le sol par drainage et remontée capillaire. De plus, elle permet de mieux estimer la tension de quasi-équilibre lorsque le drainage cesse, tension caractéristique de la **capacité au champ**. (Boily et coll. 2008, p. 2).

La capacité au champ (θ_c) de ce sol, soit la valeur de la tension indiquée par un tensiomètre 24 à 36 heures après la saturation du sol, est d'environ -60 cm, soit 6 kPa (figure 3). Cette valeur indique la tension cible lors d'une irrigation afin de limiter les pertes d'eau par drainage. Maintenant, la valeur correspondant au point de flétrissement temporaire (θ_{pft}) ou ($\theta_{1\text{ mm}}$) est d'environ -110 cm, soit 11 kPa. Cette dernière renseigne sur la valeur de tension de l'eau dans le sol qui permet de fournir 1 mm d'eau à la plante, car à cette tension l'eau se déplace dans le sol à une vitesse de 1 mm par 6 heures. Une tension plus élevée à celle correspondant à ce point indiquerait une situation où la plante subirait un stress hydrique. Théoriquement, la tension de l'eau dans le sol devrait être maintenue à une tension inférieure à 11 kPa. La tension permettant de fournir à la plante 6 mm en 6 heures est inférieure à celle identifiée pour la capacité au champ (θ_c). Conséquemment, cela indique que la remontée capillaire de ce sol est insuffisante pour fournir 6 mm d'eau à la plante en 6 heures.



(adaptée de Boily et coll. 2008, p. 26)

Figure 3. Conductivité hydraulique non saturée, échantillon MO 13 P520.

2.6.5.2 Courbes de rétention

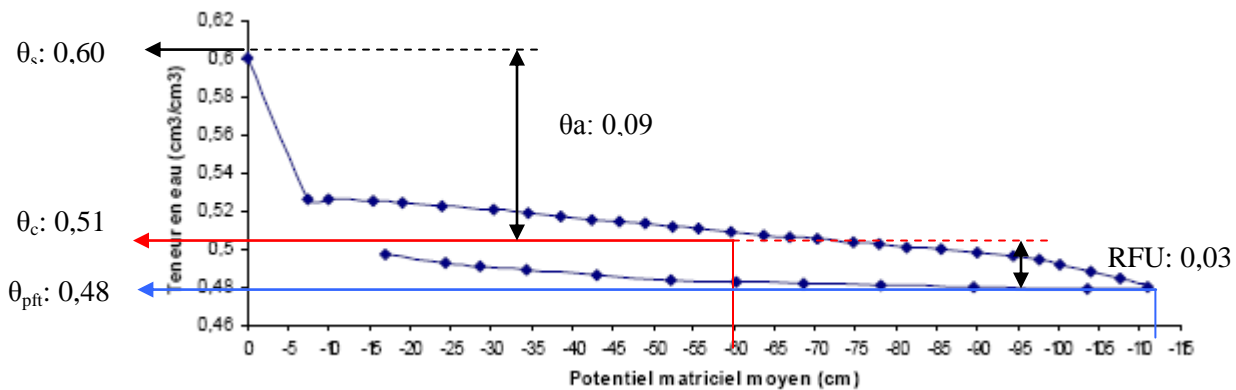
La courbe de rétention décrit la relation entre la teneur en eau volumique du sol et le potentiel matriciel. Plus on augmente le potentiel matriciel et plus l'humidité du sol diminue. La courbe de rétention est unique à chaque sol car elle varie en fonction de la quantité et du type d'argile, de la structure et du type de matière organique et de la distribution et de la taille des pores du sol. En effet, plus un pore est gros et moins il retient l'eau. Cette courbe permet donc de mieux comprendre la relation entre le sol et l'eau et elle fournit plusieurs informations utiles dans l'élaboration d'une stratégie d'irrigation, telle que la capacité en air, la taille et la distribution des pores ou encore la réserve en eau utilisable. D'après cette courbe, on peut estimer les quantités d'eau à appliquer et avoir une idée de l'aération dans les sols. Grâce à la courbe de conductivité hydraulique non saturée décrite plus tôt, on a pu déterminer le potentiel matriciel minimal pour que la plante prélève 1 ou 6 mm d'eau entre 9h00 et 15h00. Avec la courbe de rétention, on peut trouver la teneur en eau correspondant à ces valeurs, donc la teneur minimale en eau que le sol doit contenir pour subvenir aux besoins des cultures (Boily et coll. 2008, p. 6).

Les courbes de conductivité hydraulique non saturée présentées à la figure 4, ont permis de déterminer que la teneur en eau au point de flétrissement (θ_{pft}) ou ($\theta_{1\text{mm}}$) était de $0,48 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$, soit la valeur de la teneur en eau qui correspond au potentiel matriciel (flèche bleue, la plus basse). Elle permettent aussi d'estimer la réserve facilement utilisable en eau (RFU) en soustrayant cette valeur à celle de la teneur en eau à la capacité au champ (θ_c) (flèche rouge, au centre), soit $0,03 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$. Enfin, en multipliant la profondeur d'enracinement à la RFU, on calcule la quantité théorique d'eau que ce sol peut contenir pour la profondeur considérée, lorsque l'apport d'eau par l'irrigation se fait au point de flétrissement temporaire (θ_{pft}). En considérant une profondeur des racines de 40 cm, ce sol serait en mesure de retenir 12 mm d'eau lorsque l'irrigation est déclenchée au (θ_{pft}) ou 11 kPa (équation 1). Toutefois, cette valeur est inférieure à celle généralement véhiculée dans la littérature pour les sols loameux. Quoi qu'il en soit, lorsque la quantité d'eau appliquée fait diminuer la tension en deçà de la capacité au champ, le surplus sera perdu par lessivage et inaccessible pour les racines.

Équation 1. Détermination de la capacité de rétention en eau du sol en fonction de la profondeur des racines.

$$\text{Profondeur des racines} * (\theta_c - \theta_{1\text{mm}})$$

$$40 \text{ cm} * (0,51 \text{ cm}^3/\text{cm}^3 - 0,48 \text{ cm}^3/\text{cm}^3) = 1,2 \text{ cm}$$



(adaptée de Boily et coll. 2008, p. 24)

Figure 4. Courbes de rétention d'eau en désorption et en sorption, échantillon MO13P520.

2.6.5.3 Teneur en air (θ_a)

La teneur en air du sol fournit des indications sur l'aération des racines. Une bonne aération est essentielle pour l'obtention de bons rendements. En effet, si le sol contient moins de 10 % (cm^3/cm^3) d'air, les cultures meurent. Par contre, plus le sol est exposé à l'oxygène, plus il s'oxyde et se dégrade (Boily et coll. 2008, p. 8).

2.6.5.4 Conductivité hydraulique saturée (K_s)

La conductivité hydraulique saturée d'un sol décrit le mouvement de l'eau dans un sol à saturation. Même s'il est plutôt rare que les champs soient à saturation, cette valeur permet de prédire le taux d'infiltration et de drainage de l'eau dans un sol suite à une pluie intense ou prolongée. Une faible conductivité hydraulique saturée augmente les risques d'érosion hydrique puisqu'il y a ruissellement rapide suite à une pluie continue ou intense. De plus, ces sols sont lents à drainer suite à une saturation, l'eau reste donc longtemps à la surface, limitant ainsi l'aération des cultures. Si les cultures sont asphyxiées trop longtemps, cela peut causer une perte de rendement considérable (Boily et coll. 2008, p. 9).

2.6.5.5 Densité apparente (ρ_a) et réelle (ρ_r)

La densité d'un sol est un paramètre important à connaître puisqu'il renseigne sur la compaction du sol. Plus un sol est compacté, plus la porosité diminue et plus la densité augmente. En effet, la macroporosité, responsable de la percolation de l'eau et de l'aération, est affectée lors du compactage du sol, ce qui peut entraîner une perte de rendements substantielle pour la culture.

Il existe deux sortes de densité. La densité apparente du sol correspond au poids du sol par unité de volume de sol sec en place et varie de 1,0 à 1,6 g/cm^3 pour les sols minéraux (CRAAQ 2003). Généralement, un sol sableux bien structuré aura une densité apparente de 1,3 g/cm^3 dans l'horizon cultivé et de 1,4 g/cm^3 dans les couches subséquentes. Au-delà de ces valeurs, le sol risque d'être diagnostiqué comme compacté bien que d'autres paramètres doivent être pris en considération. Quant à la densité réelle d'un sol, dont les valeurs oscillent entre 2,2 et 2,7 g/cm^3 , elle fait abstraction de la porosité et se définit comme étant le poids réel de la matière constitutive de ce sol. La connaissance de la densité réelle est utile lorsqu'on désire connaître la porosité totale d'un sol, cette dernière étant obtenue par la différence entre la densité réelle et la densité apparente.

2.6.5.6 Interprétation des propriétés physiques des sols pour les trois sites

2.6.5.6.1 *Site Delisle*

La masse volumique apparente (ρ_a) moyenne de ce sol, soit 1,09, indique que ce dernier n'est pas compacté (tableau 3). À saturation, ce sol a une teneur en eau moyenne de $0,58 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$. De plus, la tension de l'eau dans le sol à la capacité au champ (C_c) est de 6 kPa (60 cm) et la teneur correspondante en eau est de $0,36 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$. Une teneur en air (θ_a) de $0,18 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ ou 18 % indique une bonne aération pour les racines.

Tableau 3. Propriétés physiques des échantillons de sol prélevés sur le site Delisle.

No du champ	ρ_a g/cm ³	ρ_s g/cm ³	θ_s cm ³ /cm ³	C_c cm	θ_c cm ³ /cm ³	θ_a cm ³ /cm ³	$\theta_{1 \text{ mm}}$ cm ³ /cm ³	RFU cm ³ /cm ³	K_s cm/s	$\theta_{1000 \text{ cm}}$ cm ³ /cm ³
DE3P520*	1,15	2,56	0,55	60	0,36	0,19	0,36	0,00	0,069812	0,28
DE7P520	1,03	2,57	0,60	60	0,44	0,16	0,46	0,00	0,038493	0,36
DE12P520	1,08	2,55	0,58	60	0,39	0,19	0,42	0,00	0,034311	-
Moyenne	1,09	2,56	0,58		0,40	0,18	0,41	0,00	0,05	0,32

* le cylindre contenait une grosse roche

Tiré de Boily et coll., 2008, p. 17

ρ_a : Masse volumique apparente

ρ_s : Masse volumique réelle

θ_s : Teneur en eau à saturation

C_c : Potentiel matriciel à la capacité au champ

θ_c : Teneur en eau à la capacité au champ

θ_a : Teneur en air

$\theta_{1 \text{ mm}}$: Teneur en eau minimal du sol pour fournir un apport d'eau de 1 mm à la culture

RFU: Réserve en eau facilement utilisable

K_s : Conductivité hydraulique saturée

Si les valeurs moyennes des 3 échantillons permettent de calculer la réserve facilement utilisable en eau par la plante (RFU), les valeurs individuelles pour chacun des échantillons indiquent l'absence de RFU. En effet, la teneur en eau au point de flétrissement temporaire (θ_{pt}) ou la teneur minimale en eau du sol pour fournir 1 mm à la culture ($\theta_{1\text{mm}}$) est supérieure à la teneur en eau à la capacité au champ (θ_c), et ce, pour les trois échantillons. En théorie, cela indique que la remontée capillaire de ce sol est incapable de fournir un minimum de 1 mm d'eau à la plante en

6 heures. Conséquemment, la plante serait soumise à un stress hydrique en permanence. Toutefois, il faudrait effectuer des mesures *in situ* pour vérifier les résultats obtenus en laboratoire. Aussi, les paramètres mesurés l'ont été pour la strate de sol comprise entre 5 et 20 cm de profondeur. Il serait possible que les propriétés physiques et hydrodynamiques de ce sol soient différentes en profondeur. Par exemple, la densité apparente est généralement plus élevée en profondeur, ce qui peut faciliter la remontée capillaire. Enfin, la tension à la capacité au champ, mesurée avec les tensiomètres Irrometer® *in situ*, peut avoir été sous-estimée, une tension plus élevée correspond à une teneur en eau plus faible. Conséquemment, la RFU étant la différence entre la teneur en eau à la capacité au champ et celle au point de flétrissement temporaire (θ_{pft}) ou (θ_{1mm}), on obtiendrait alors une valeur pour la RFU.

Les courbes de rétention d'eau et de conductivité hydraulique non saturée pour les échantillons DE3P520, DE7P520 et DE12P520 sont respectivement présentées aux figures 9 à 14 de l'annexe 1.

La tension de l'eau dans le sol mesurée pour les mois de juillet et août est présentée à la figure 5. La courbe en rose (carré) indique la tension mesurée pour la régie du producteur, alors que celle en noir (losange) correspond aux mesures effectuées pour la régie tensiométrique. Généralement, les tensions mesurées pour les deux régies sont semblables. Toutefois, de la mi-juillet jusqu'au début août, la tension atteint 25 kPa, consigne pour le déclenchement du système d'irrigation, à deux reprises pour la régie tensiométrique. Enfin, la pluviométrie mesurée sur ce site est présentée aux figures 9 à 13 de l'annexe 4.

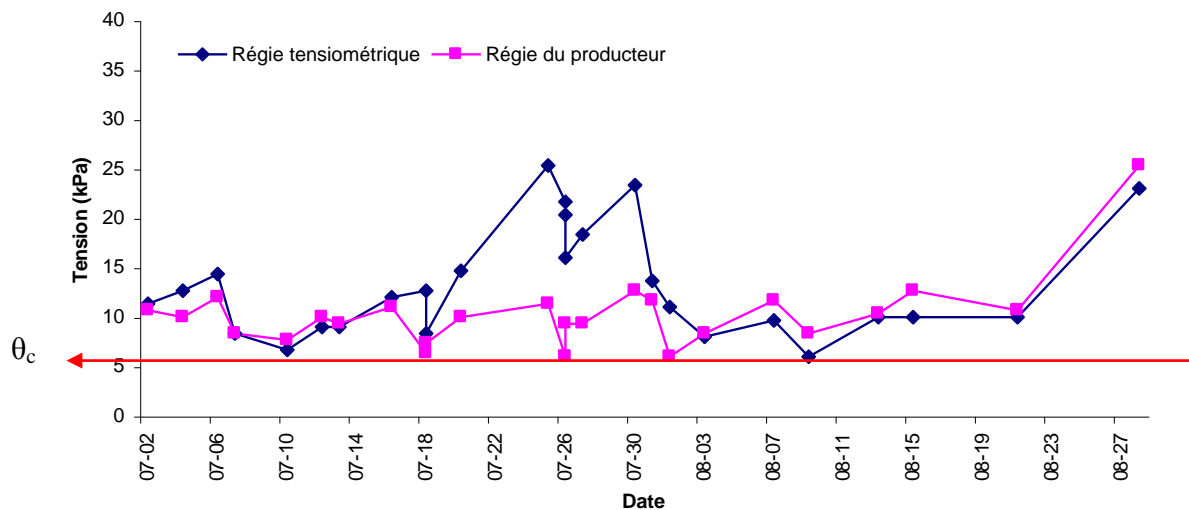


Figure 5. Tension de l'eau dans le sol (kPa) pour les mois de juillet et août pour le site Delisle.

2.6.5.6.2 Site Moreau

La masse volumique apparente moyenne (ρ_a) de ce sol, soit 1,09 g/cm³, indique que ce dernier n'est pas compacté (tableau 4). À saturation, ce sol a une teneur en eau moyenne de 0,58 cm³/cm³. De plus, la tension de l'eau dans le sol à la capacité au champ (C_c) est de 6 kPa (60 cm) et la teneur correspondante en eau est de 0,36 cm³/cm³. Enfin, une teneur en air (θ_a) de 0,18 cm³/cm³ ou 18 % indique une bonne aération pour les racines.

Le calcul de la réserve facilement utilisable en eau a été présenté au début de cette section, soit aux points 2.6.5.1.1 et 2.6.5.2.1 aux pages 14 à 16.

Les courbes de rétention d'eau et de conductivité hydraulique non saturée pour les échantillons MO5P520, MO10P520 et MO13P520 sont respectivement présentées aux figures 15 à 20 de l'annexe 2.

Tableau 4. Propriétés physiques des échantillons de sol prélevés sur le site Moreau.

No du champ	ρ_a g/cm ³	ρ_s g/cm ³	θ_s cm ³ /cm ³	C_c cm	θ_c cm ³ /cm ³	θ_a cm ³ /cm ³	$\theta_{1\text{mm}}$ cm ³ /cm ³	RFU cm ³ /cm ³	K_s cm/s	$\theta_{1000\text{cm}}$ cm ³ /cm ³
MO5P520	1,18	2,60	0,55	60	0,47	0,08	0,47	0,00	0,094489	0,35
MO10P520*	1,08	2,62	0,59	60	0,42	0,17	0,39	0,03	0,006899	0,27
MO13P520	1,03	2,58	0,60	60	0,51	0,09	0,48	0,03	0,014589	-
Moyenne	1,09	2,60	0,58		0,47	0,11	0,45	0,02	0,04	0,31

* le cylindre contenait une grosse roche

Tiré de Boily et coll., 2008, p. 27

La tension de l'eau dans le sol mesurée pour les mois de juillet et août est présentée à la figure 6. La courbe en rose (carré) indique la tension mesurée pour la régie du producteur, alors que celle en noir (losange) correspond aux mesures effectuées pour la régie tensiométrique. Généralement, les tensions mesurées pour les deux régies sont semblables et se maintiennent régulièrement dans la zone correspondant à la RFU. Enfin, la pluviométrie mesurée sur ce site est présentée à l'annexe 4.

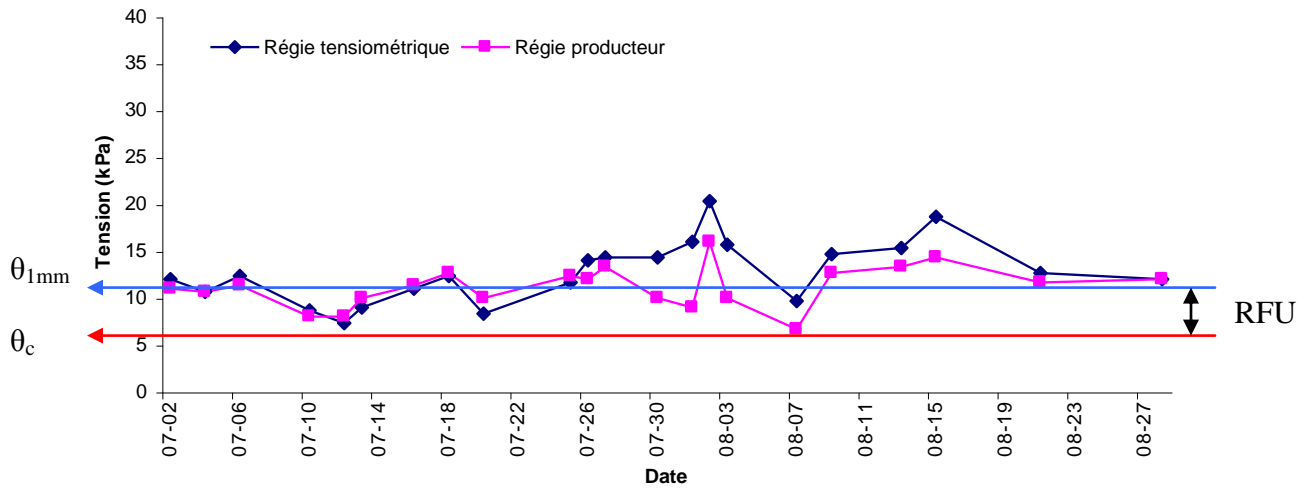


Figure 6. Tension de l'eau dans le sol (kPa) pour les mois de juillet et août pour le site Moreau.

2.6.5.6.3 Site Giard

La masse volumique apparente (ρ_a) moyenne de ce sol, soit $1,29 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$, indique que ce dernier n'est pas compacté (tableau 5). À saturation, ce sol a une teneur en eau moyenne de $0,50 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$. De plus, la tension de l'eau dans le sol à la capacité au champ (C_c) est de 6 kPa (60 cm) et la teneur correspondante en eau est de $0,32 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$. Cette valeur, lorsque soustraite à celle du point de flétrissement temporaire (θ_{pft}) ou de la teneur en eau minimale du sol pour fournir un apport d'eau de 1 mm à la culture ($\theta_{1\text{mm}}$), renseigne sur la réserve facilement utilisable (RFU), soit $0,01 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$. Cette valeur multipliée par la profondeur des racines, soit 40 cm, indique que ce sol peut retenir 4 mm d'eau lorsque l'irrigation est déclenchée à une valeur de tension de 7,5 kPa (figure 7), tension se rapprochant de la valeur moyenne de la teneur en eau au (θ_{pft}) ou ($\theta_{1\text{mm}}$).

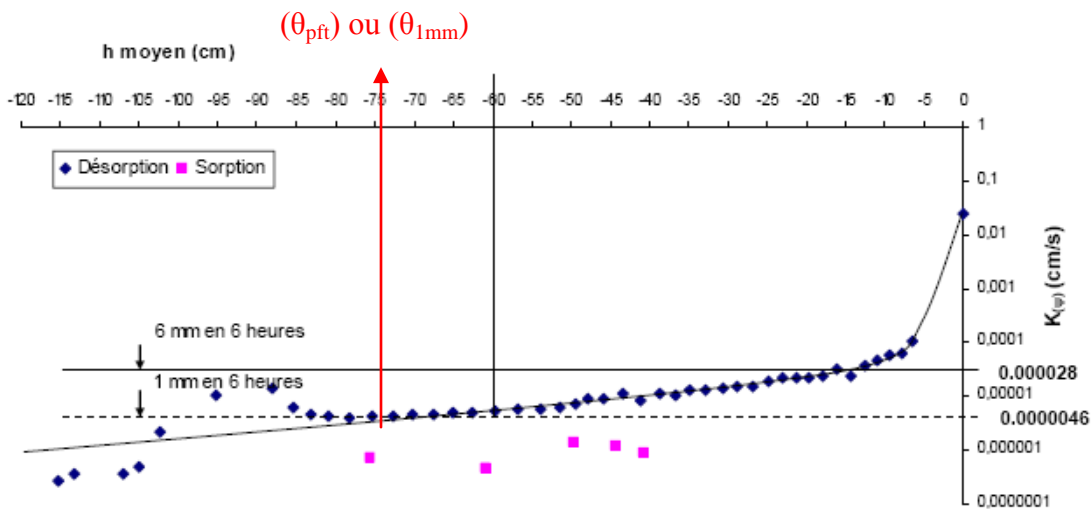
Tableau 5. Propriétés physiques des échantillons de sol prélevés sur le site Giard.

No du champ	ρ_a g/cm ³	ρ_s g/cm ³	θ_s cm ³ /cm ³	C_c cm	θ_c cm ³ /cm ³	θ_a cm ³ /cm ³	$\theta_{1\text{mm}}$ cm ³ /cm ³	RFU cm ³ /cm ³	K_s cm/s	$\theta_{1000\text{cm}}$ cm ³ /cm ³
MO5P520	1,31	2,57	0,49	60	0,37	0,12	0,36	0,01	0,024060	0,27
MO10P520*	1,14	2,57	0,56	60	0,32	0,24	0,32	0,00	0,029859	-
MO13P520	1,41	2,57	0,45	60	0,27	0,18	0,26	0,01	0,019598	0,16
Moyenne	1,29	2,57	0,50		0,32	0,18	0,31	0,01	0,02	0,22

* le cylindre contenait une grosse roche

Tiré de Boily et coll., 2008, p. 22

Une teneur en air (θ_a) de $0,18 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ ou 18 % indique une bonne aération pour les racines (tableau 5). De plus, la courbe de conductivité hydraulique présentée à la figure 7 indique que la tension permettant de fournir à la plante 6 mm en 6 heures est inférieure à celle pour la capacité au champ. Conséquemment, cela indique que la remontée capillaire de ce sol est insuffisante pour fournir 6 mm d'eau à la plante en 6 heures.



(adaptée de Boily et coll., 2008, p. 20)

Figure 7. Conductivité hydraulique non saturée, échantillon GI15P520.

Les courbes de rétention d'eau et de conductivité hydraulique non saturée pour les échantillons GI12P520, GI12P2520 et GI15P520 sont présentées à l'annexe 3. Enfin, lorsque la quantité d'eau appliquée est supérieure à la capacité de rétention en eau du sol, le surplus sera perdu par lessivage et inaccessible pour les racines.

La tension de l'eau dans le sol pour les mois de juillet et août est présentée à la figure 8. La courbe en rose (carré) indique la tension mesurée pour la régie du producteur, alors que celle en noir (losange) correspond aux mesures effectuées pour la régie tensiométrique. Généralement, les tensions mesurées pour les deux régies sont semblables et se maintiennent régulièrement dans la zone correspondant à la RFU. Enfin, la pluviométrie mesurée sur ce site est présentée à l'annexe 4.

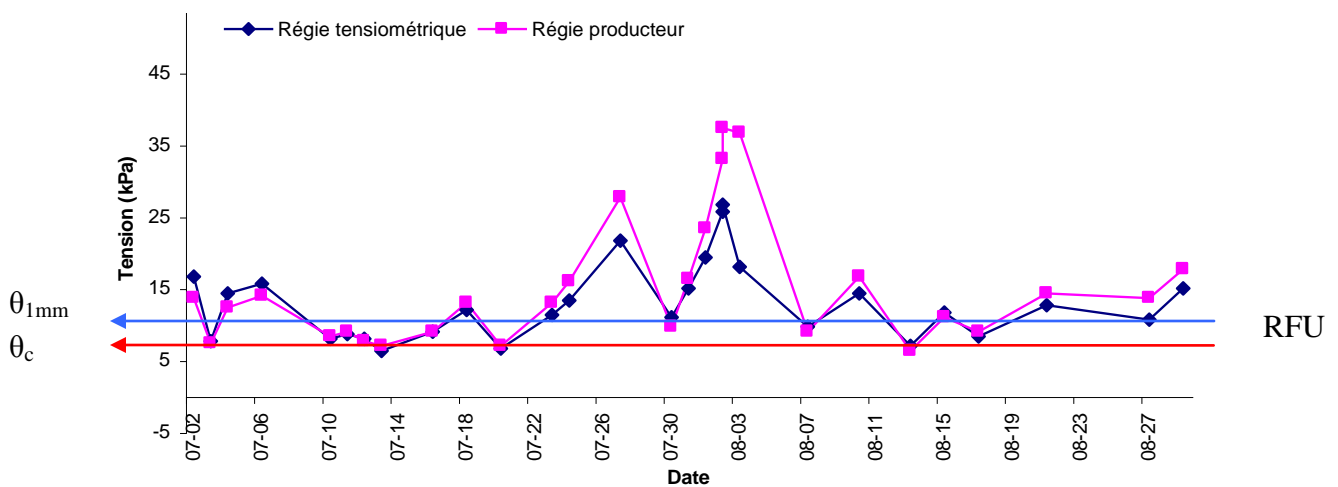


Figure 8. Tension de l'eau dans le sol (kPa) pour les mois de juillet et août pour le site Giard.

2.6.5.7 Capacité des systèmes

Maintenant que la RFU est connue pour les trois sites à l'étude, il sera possible d'estimer les besoins en irrigation de chacune des bleuetières selon les caractéristiques physiques du sol.

- Le diamètre de sol à la portée d'un goutteur est établi à 0,3048 m.
- La densité de plantation est de 2 222 plants/ha pour les 3 sites.
- À partir des distances de plantation (1 x 3 m), la longueur de rang totale calculée pour 1 ha est de 3 333 m.
- La profondeur d'enracinement considérée est de 0,4 m.
- Le volume maximal de sol à la portée d'une ligne de goutte-à-goutte lorsque l'irrigation est déclenchée au point de flétrissement temporaire (pft) sans qu'il y ait lessivage est de 406 m³ :

$$3\ 333\ \text{m} * 0,3048\ \text{m} * 0,4\ \text{m} = 406\ \text{m}^3$$

Tableau 6. Estimation du temps d'irrigation pour combler la RFU selon le site et les caractéristiques des sites à l'étude.

	Site			Information	
	Delisle	Moreau	Giard		
1	0,3048	0,457	0,61	0,61	Espacement entre les goutteurs (m)
2	10 935	7 293	5 463	5 463	Nombre de goutteurs par ha (unité)
3	3 333	2 223	1 665	1 665	Longueur de rang influencée par l'irrigation selon le nombre de goutteurs (m) (max. 3 333 m)
4	0	0,03	0,03	0,01	RFU (cm ³ d'eau par cm ³ de sol)
5	0	3	3	1	RFU (%)
6	406	271	203	203	Volume de sol maximal influencé par l'irrigation selon l'espacement des goutteurs (m ³) (max. 406 m ³ /ligne)
7	-	8,1	6,1	2,0	Volume d'eau pour combler la RFU lorsque l'irrigation est déclenchée au pft (m ³)
8	-	8 131	6 090	2 030	Volume d'eau pour combler la RFU lorsque l'irrigation est déclenchée au pft (L)
9	1,5	1,5	1,5	2,5	Capacité du goutteur (L/h)
10	-	1,11	1,11	0,37	Volume d'eau par goutteur pour combler la RFU (L)
11	-	45	45	9	Durée d'une irrigation déclenchée au pft lorsque le système est chargé et ce, sans perte par lessivage (minutes)
12	0 ^a	12 ^b	4 ^c		RFU en mm d'eau après une irrigation

^a Démonstration à la section 2.6.5.6.1

^b Démonstration à la section 2.6.5.2.1

^c Démonstration à la section 2.6.5.6.3

Les besoins en eau du bleuetier selon le cultivar, l'âge et le stade de développement sont peu connus et les données disponibles varient selon les sources (annexe 5). Divers résultats de recherche avancent des besoins qui, tous facteurs confondus, sont de l'ordre de 25 à 70 mm d'eau par semaine, ce qui représenterait entre 3,5 et 10 mm par jour. Considérant des besoins journaliers en eau de 6 mm et les caractéristiques des 3 sites présentées au tableau 6, en l'absence de précipitations, le système d'irrigation devrait être déclenché aux deux jours pour le site Moreau et à chaque jour pour les sites Delisle et Giard. Toutefois, les informations présentées pour ces deux sites sont à prendre avec réserve. La démarche utilisée demeure en grande partie théorique et devrait être vérifiée *in situ* au champ, car l'ordre de grandeur des résultats obtenus est inférieur à celui avancé par la littérature.

2.7 Éléments qui ont assuré la réussite du projet

- L'implication financière des organismes et partenaires impliqués dans le projet.
- L'expérience et la qualité des intervenants concernés.
- L'appui du milieu.
- La rigueur du protocole.

2.8 Biens livrés

- Rapport final.
- Rapport d'analyses des propriétés physiques des 3 bleuetières à l'étude.
- Revue de littérature.
- Fiche de vulgarisation.
- Conférences (3) et textes de conférences (2).

3 IMPACTS

3.1 Impacts sur le secteur

D'abord, il y a la sensibilisation effectuée auprès des producteurs membres du Club conseil du Corymbe à l'égard de l'importance d'une bonne gestion de l'eau d'irrigation.

Ensuite, la démonstration qu'il est possible d'orienter la gestion de l'irrigation vers une utilisation rationnelle de l'eau, à partir de caractéristiques physiques connues d'un sol et d'outils de mesure de la disponibilité en eau du sol.

Enfin, s'il permet de modifier le comportement des producteurs face à la gestion de l'irrigation, ce projet aura un impact environnemental et économique. En effet, une utilisation rationnelle de l'eau d'irrigation peut diminuer les coûts d'opération de l'entreprise et les risques de pollution relatifs au lessivage des éléments minéraux et des pesticides dans l'environnement.

3.2 Pérennité du projet

De par la nature du projet, la pérennité de ce dernier sera assurée par les différents documents qui ont été produits et par les intervenants qui ont été impliqués. Le rapport final et la fiche de vulgarisation, de par leur disponibilité sur le Web et l'accessibilité aux intervenants qui ont été impliqués dans ce projet, permettront d'assurer la pérennité des connaissances et de l'expérience acquise. De plus, ce projet pourra servir de référence à d'autres initiatives de la sorte.

3.3 Diffusion des résultats

Mai 2007

Informations sur le projet disponibles sur le site Web de l'IRDA

<http://www.irda.qc.ca/projets/liste/202.html>

31 janvier 2008

Conférence et texte de conférence « La gestion de l'eau dans une bleuetière »

Agri-Vision, Rougemont

140 participants

Texte de conférence disponible sur le site Web d'Agri-Réseau

www.agrireseau.qc.ca/petitsfruits/documents/Bleuets%20Boivin%20Carl.pdf

13 février 2008

Conférence et texte de conférence « La gestion de l'eau dans la culture du bleuët en corymbe »

La Semaine horticole, Boucherville

60 participants

PowerPoint de la conférence disponible sur le site Web d'Agri-Réseau

www.agrireseau.qc.ca/agroenvironnement/documents/Boivin_Carl_bleuet.pdf

Mars 2008

Dépôt d'une version préliminaire du rapport final

8 Avril 2008

Présentation des résultats du projet

Assemblée générale annuelle du Club conseil du Corymbe

Érablière l'Artisan, Brigham

Mai 2008

- Mention du projet à la page 27 du document édité par le CRAAQ intitulé « Portrait des cultures fruitières indigènes et en émergence au Québec ».

Document disponible sur le site Web du CRAAQ

<http://www.craaq.qc.ca/data/DOCUMENTS/ECC039.pdf>

- Dépôt du rapport final
- Fiche de vulgarisation (sera disponible sur le site Web de l'IRDA)

Au cours de l'année 2008

Article vulgarisé

4 REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier messieurs Lionel Moreau, René Giard et Normand Delisle, respectivement de la ferme Équinox, Bleuetière Érablière Giard et la Bleuetière Les Delisle, madame Ginette Laplante du MAPAQ et messieurs Roger Chicoine et Patrice Bouffard du Club conseil du Corymbe pour leur collaboration au projet. Nos remerciements s'adressent également à madame Michèle Grenier, statisticienne à l'IRDA.

Enfin, nous désirons remercier le Conseil pour le développement de l'agriculture du Québec (CDAQ) pour avoir contribué au financement du projet par le biais du Programme national d'approvisionnement en eau Canada-Québec (PAECQ) d'Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC) et du Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ).

5 RÉFÉRENCES

Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC). 2007. Profil de la culture du bleuet en corymbe au Canada. En ligne : www4.agr.gc.ca/resources/prod/doc/prog/prrp/pdf/blueberry_f.pdf

Boily, C., J. Caron, E. Bergeron et O.L. Gaudet. 2008. Rapport des analyses de propriétés physiques. Centre de recherche en horticulture (CRH), Université Laval, Québec, 27 p.

Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec (CRAAQ). 2003. Guide de référence en fertilisation, 1^{re} édition. CRAAQ Sainte-Foy, Québec, 298 p.

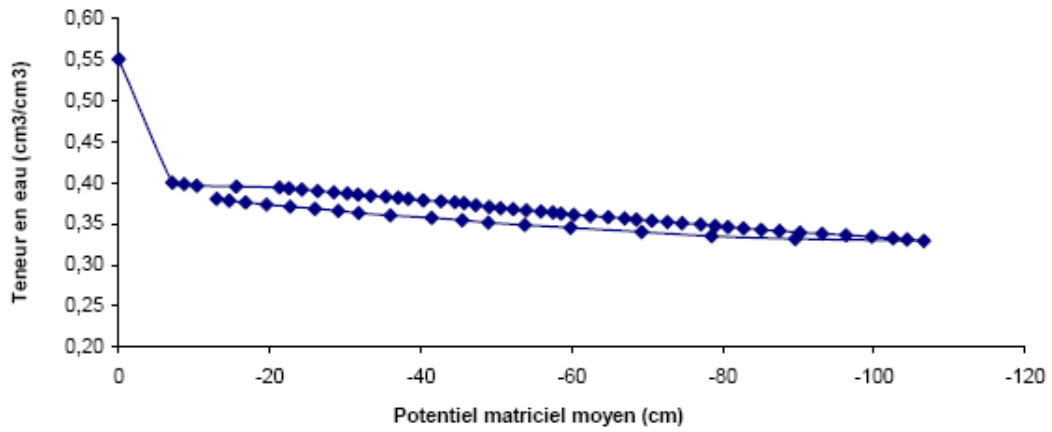
Statistique Canada. 2006. Regards sur l'industrie agroalimentaire et la communauté agricole, No. 21-004-XIF.

Strik, B. C. and D. Yarborough. 2005. Blueberry production trends in North America, 1992 to 2003, and predictions for growth. HortTechnology. 15(2):391-398. (53).

6 PLAN DE FINANCEMENT ET CONCILIATION DES DÉPENSES

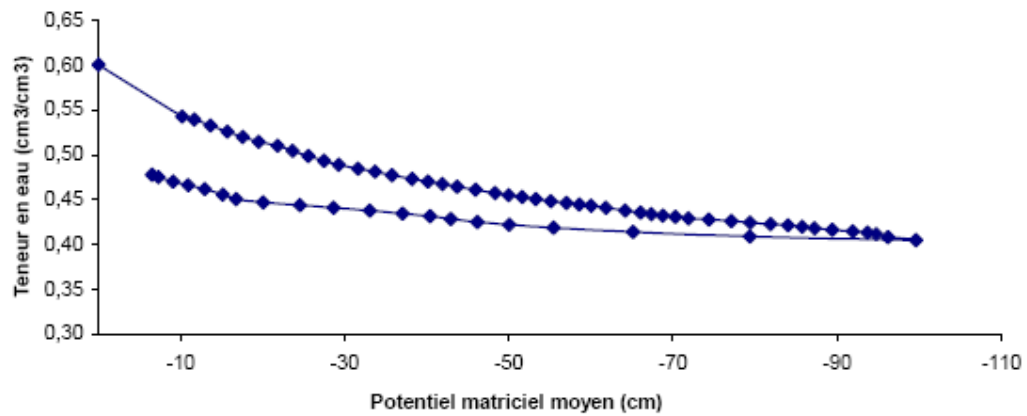
Cette section sera complétée et envoyée par le Club conseil du Corymbe

ANNEXE 1. Échantillons DE3P520, DE7P520 et DE12P520.



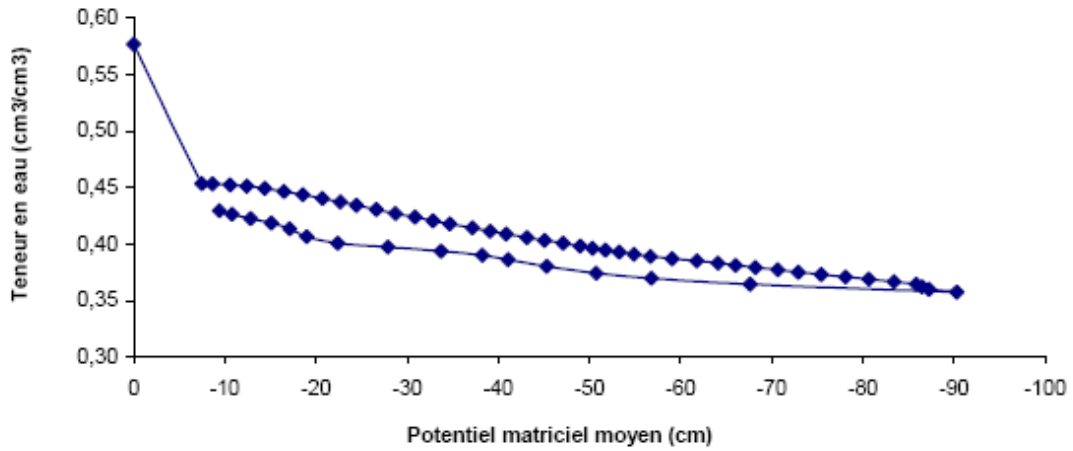
Tiré de Boily et coll., 2008, p. 13

Figure 9. Courbe de rétention d'eau en désorption et en sorption, échantillon DE3P520.



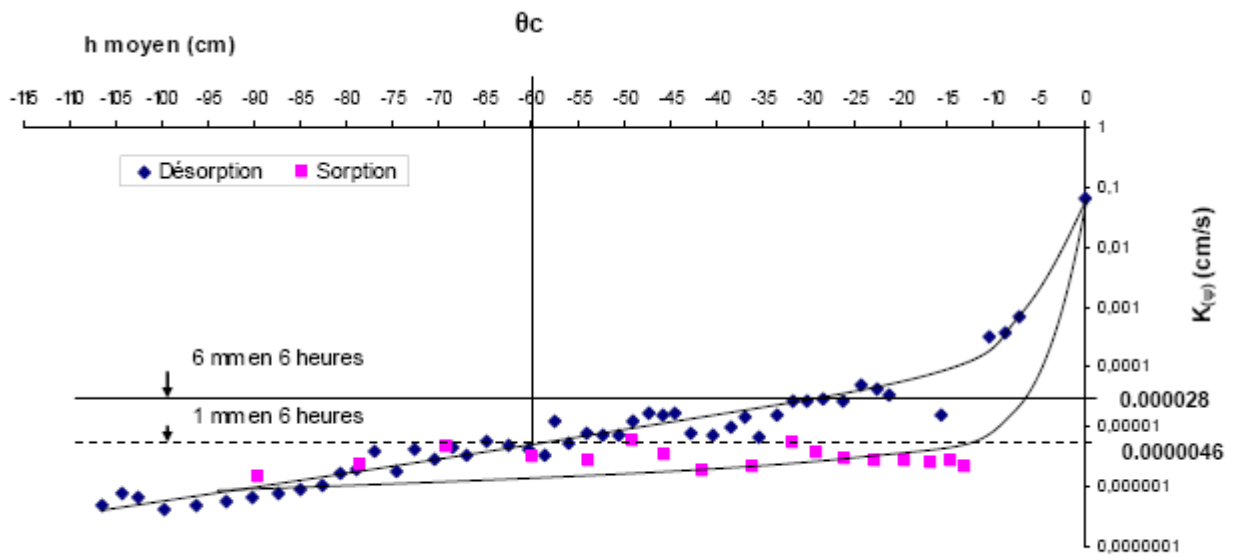
Tiré de Boily et coll., 2008, p. 13

Figure 10. Courbe de rétention d'eau en désorption et en sorption, échantillon DE7P520.



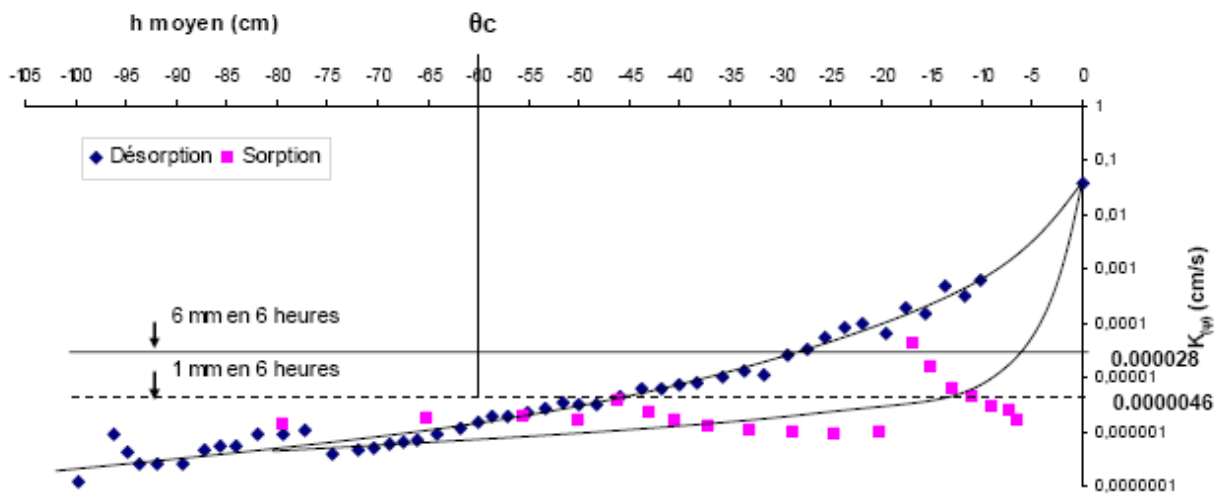
Tiré de Boily et coll., 2008, p. 14

Figure 11. Courbe de rétention d'eau en désorption et en sorption, échantillon DE12P520.



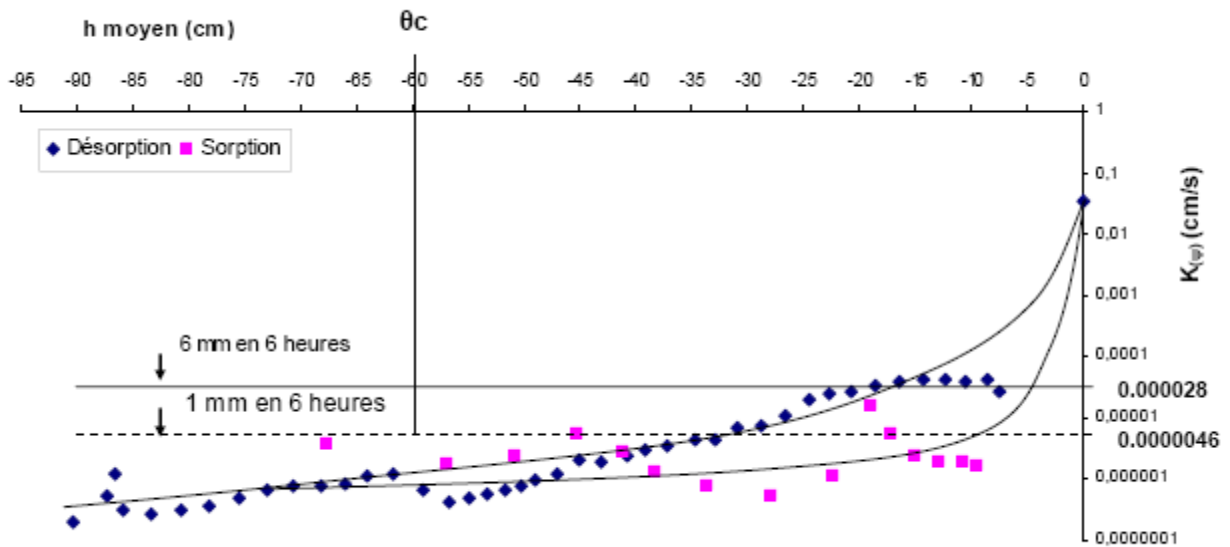
Tiré de Boily et coll., 2008, p. 15

Figure 12. Conductivité hydraulique non saturée, échantillon DE3P520.



Tiré de Boily et coll., 2008, p. 16

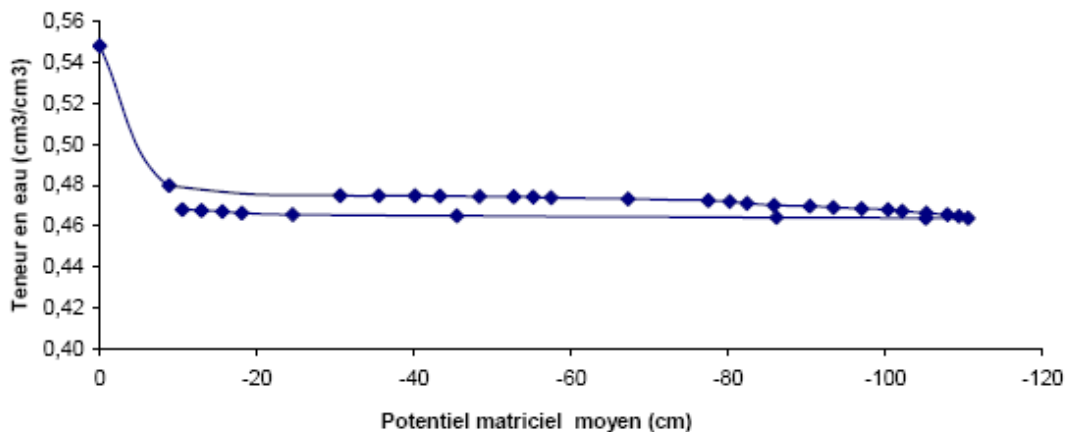
Figure 13. Conductivité hydraulique non saturée, échantillon DE7P520.



Tiré de Boily et coll., 2008, p. 16

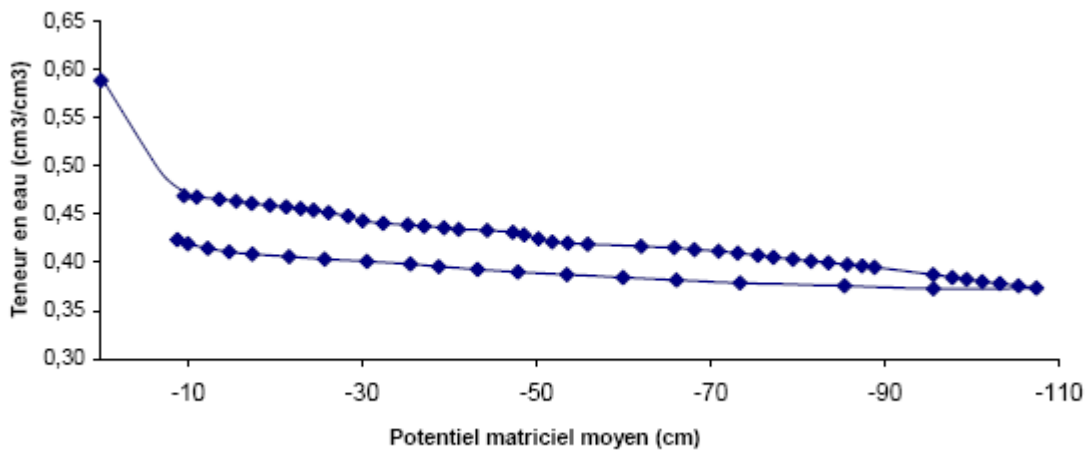
Figure 14. Conductivité hydraulique non saturée, échantillon DE12P520.

ANNEXE 2. Échantillons MO5P520, MO10P520 et MO13P520.



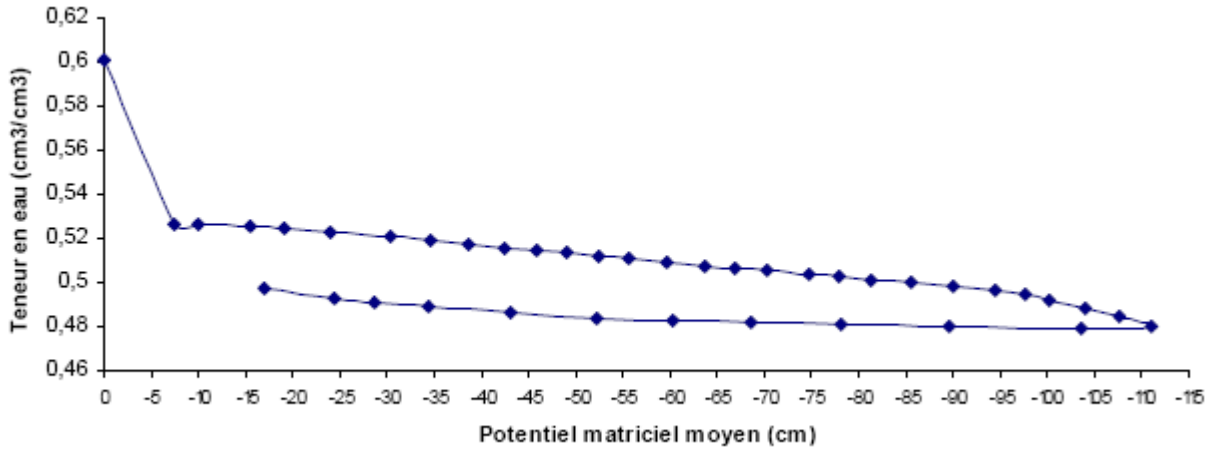
Tiré de Boily et coll., 2008, p. 23

Figure 15. Courbe de rétention d'eau en désorption et en sorption, échantillon MO5P520.



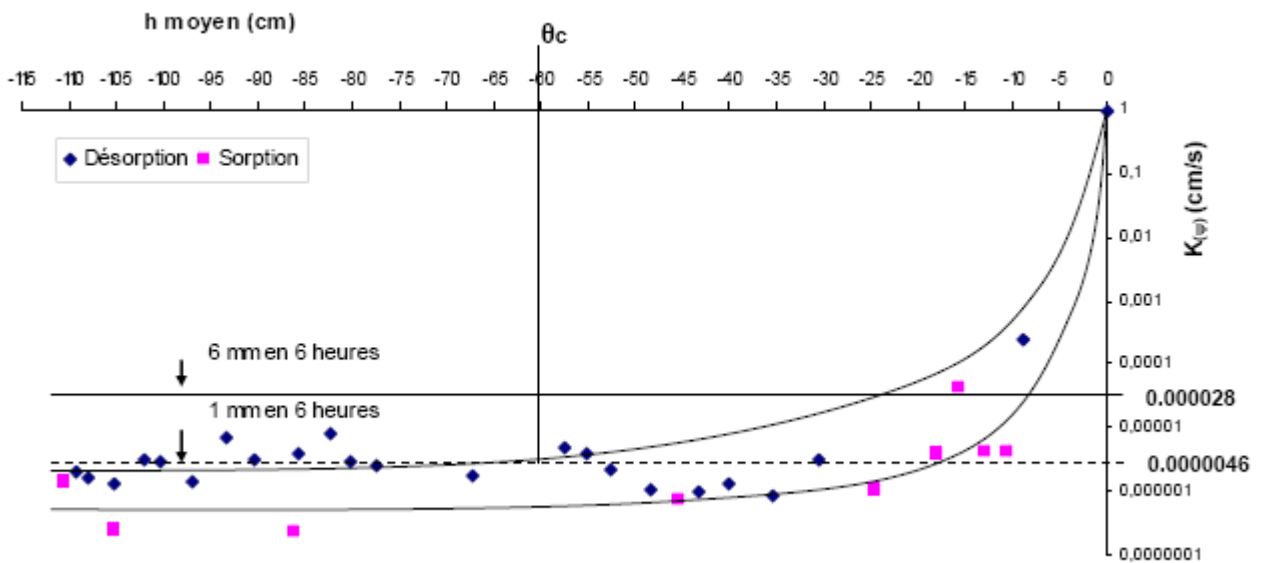
Tiré de Boily et coll., 2008, p. 23

Figure 16. Courbe de rétention d'eau en désorption et en sorption, échantillon MO10P520.



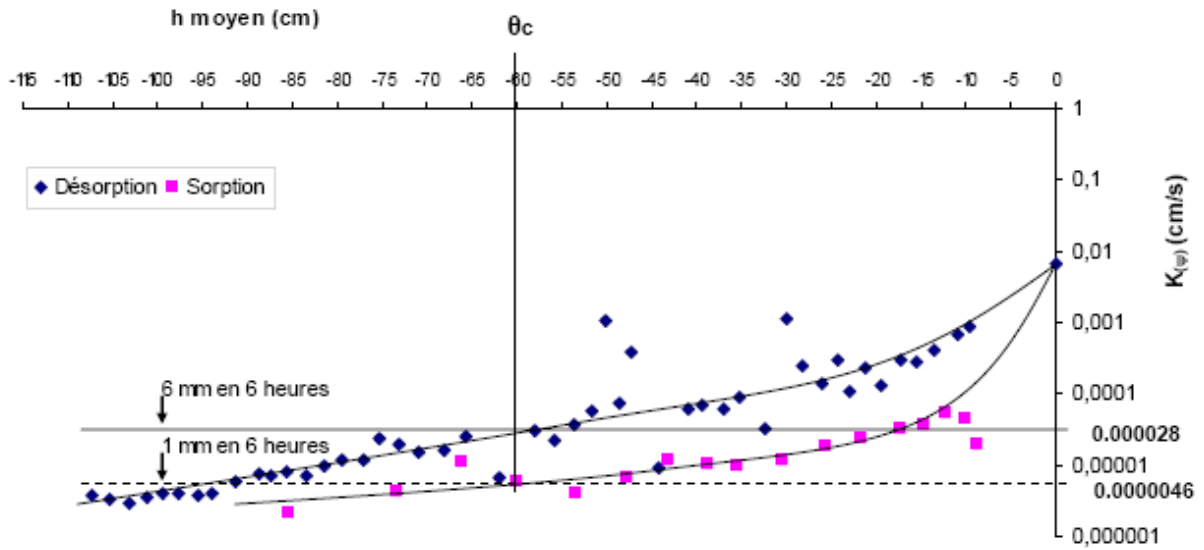
Tiré de Boily et coll., 2008, p. 24

Figure 17. Courbe de rétention d'eau en désorption et en sorption, échantillon MO13P520.



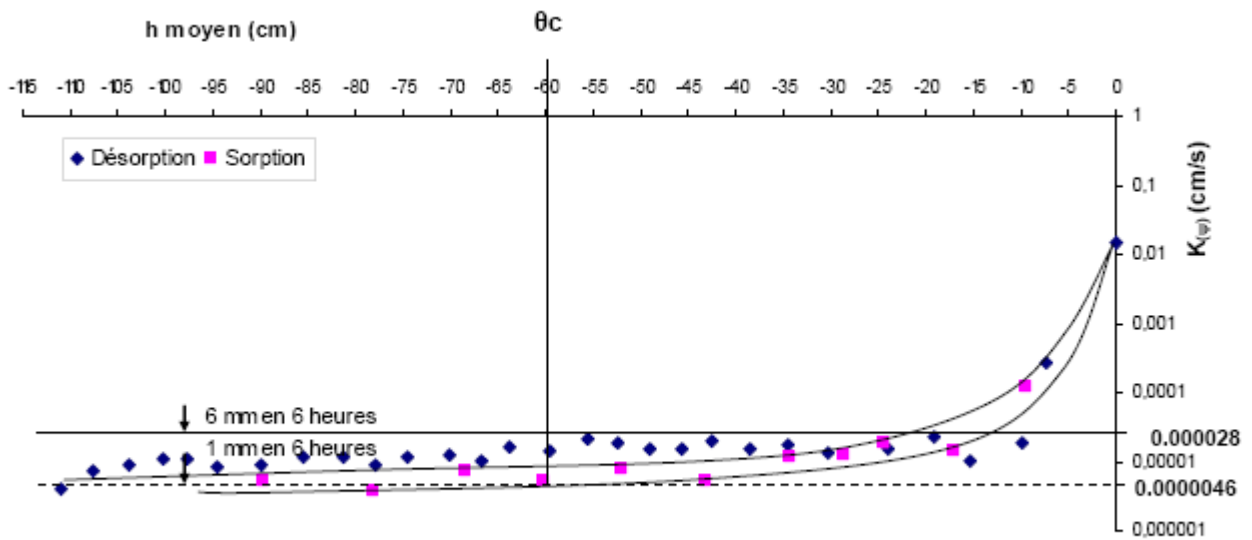
Tiré de Boily et coll., 2008, p. 24

Figure 18. Conductivité hydraulique non saturée, échantillon MO5P520.



Tiré de Boily et coll., 2008, p. 25

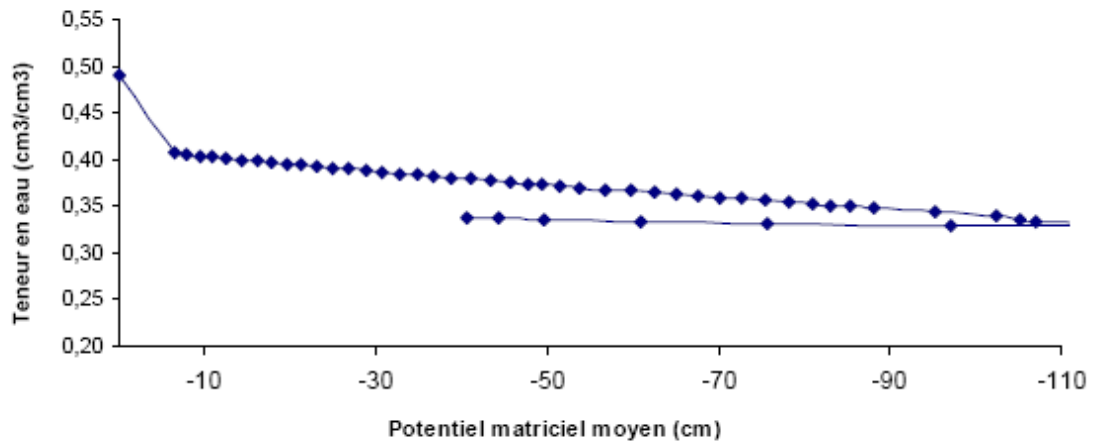
Figure 19. Conductivité hydraulique non saturée, échantillon MO10P520.



Tiré de Boily et coll., 2008, p. 26

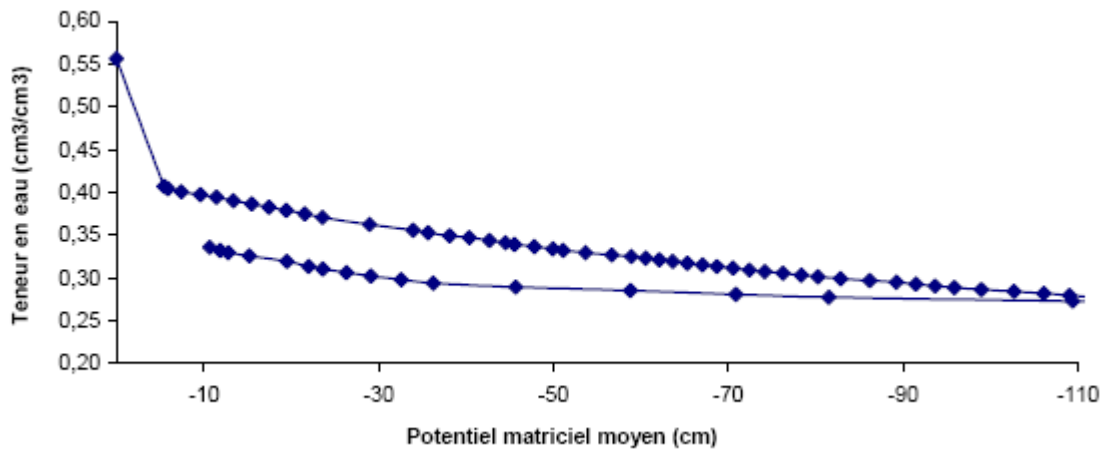
Figure 20. Conductivité hydraulique non saturée, échantillon MO13P520.

ANNEXE 3. Échantillons GI12P520, GI12P2520 et GI15P520.



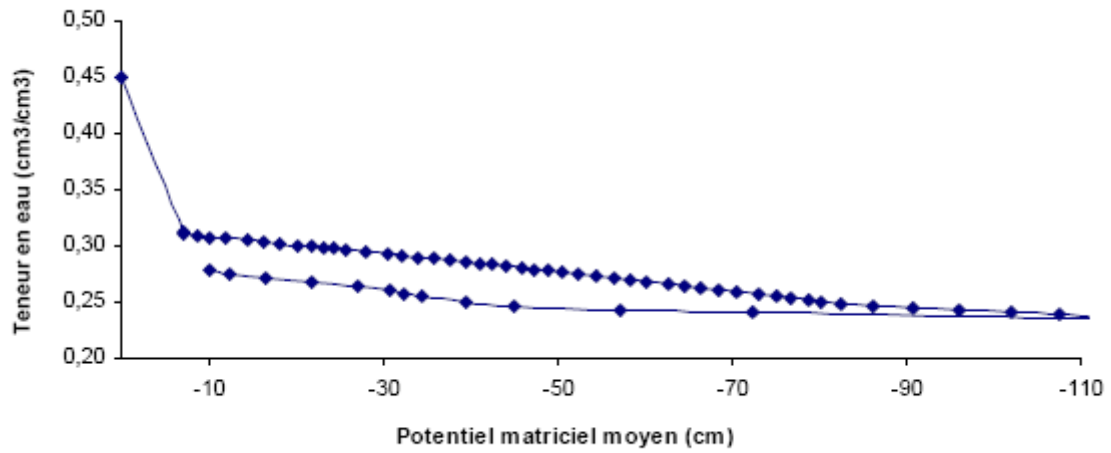
Tiré de Boily et coll., 2008, p. 26

Figure 21. Courbe de rétention d'eau en désorption et en sorption, échantillon GI12P520.



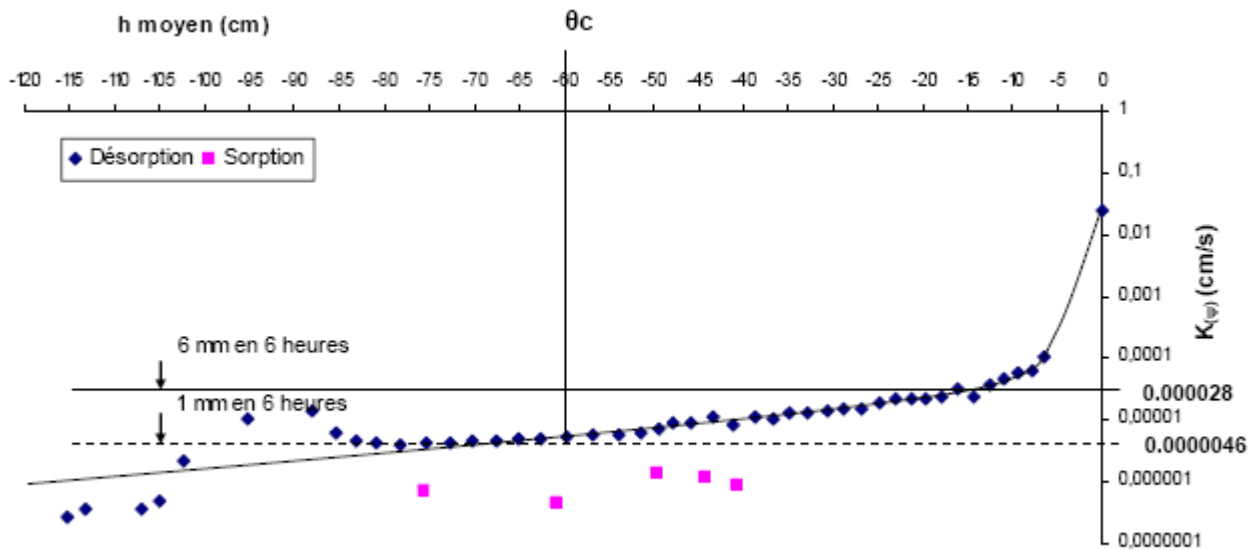
Tiré de Boily et coll., 2008, p. 18

Figure 22. Courbe de rétention d'eau en désorption et en sorption, échantillon GI12P2520.



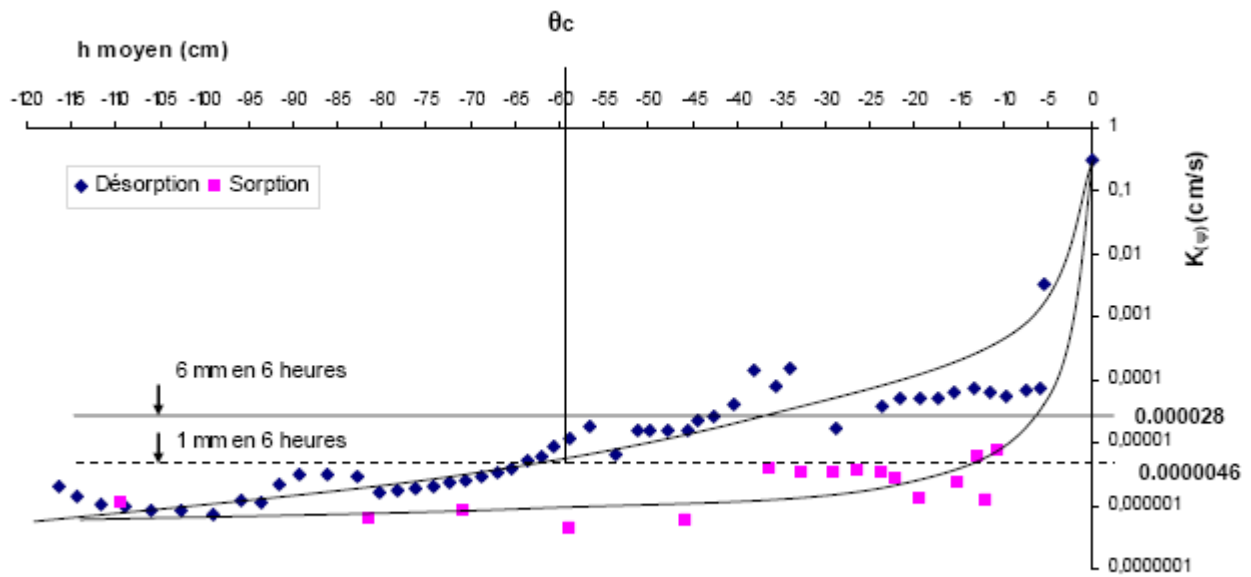
Tiré de Boily et coll., 2008, p. 18

Figure 23. Courbe de rétention d'eau en désorption et en sorption, échantillon GI15P520.



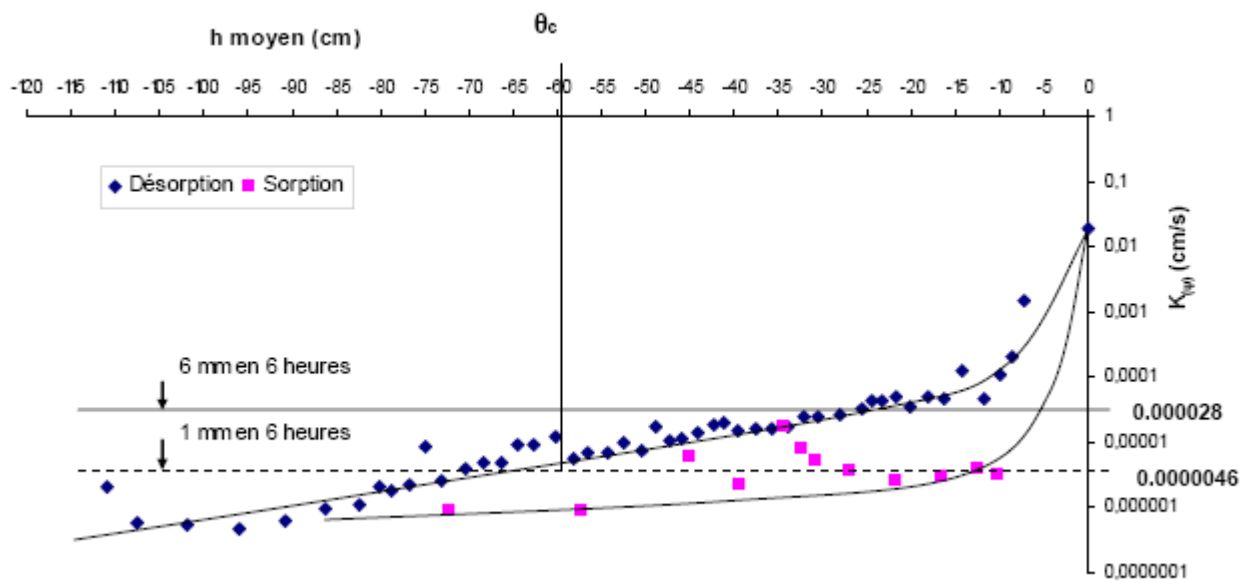
Tiré de Boily et coll., 2008, p. 20

Figure 24. Conductivité hydraulique non saturée, échantillon GI12P520.



Tiré de Boily et coll., 2008, p. 21

Figure 25. Conductivité hydraulique non saturée, échantillon GI12P2520.



Tiré de Boily et coll., 2008, p. 21

Figure 26. Conductivité hydraulique non saturée, échantillon GI15P520.

ANNEXE 4. Pluviométrie mesurée sur les sites à l'étude.

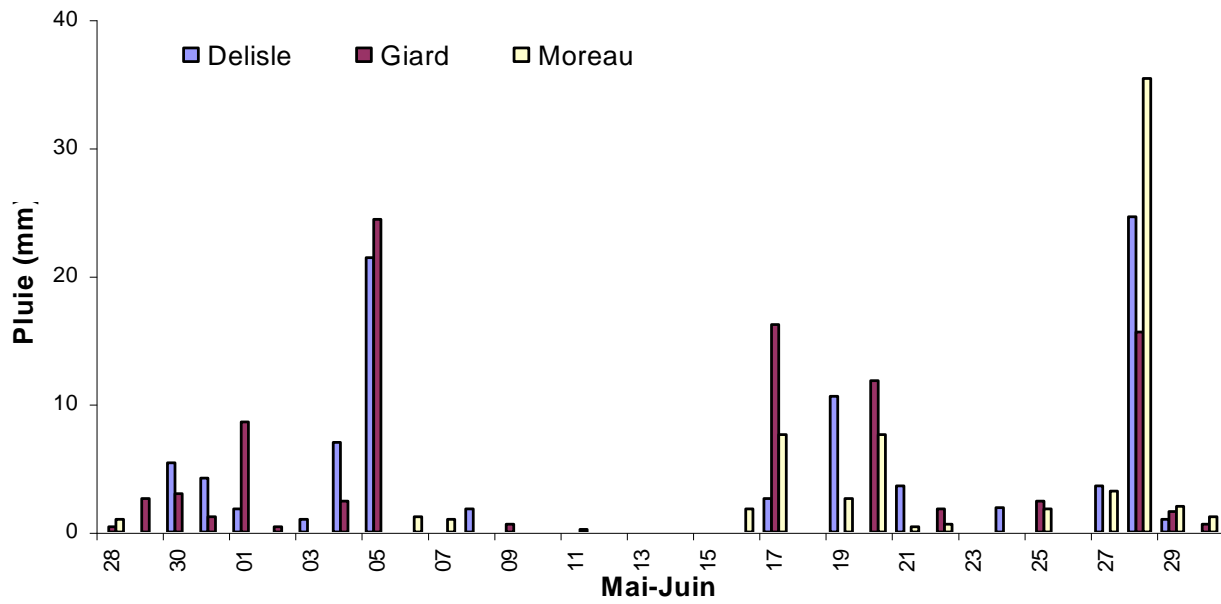


Figure 27. Pluviométrie mesurée sur les sites à l'étude du 28 mai au 30 juin 2007.

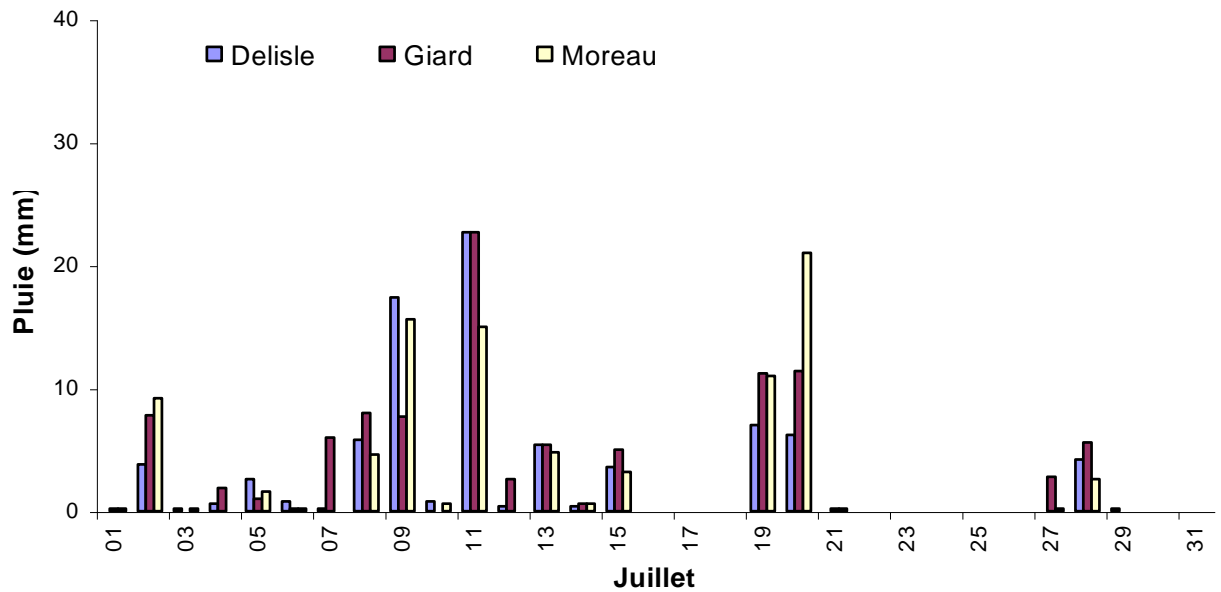


Figure 28. Pluviométrie mesurée sur les sites à l'étude en juillet 2007.

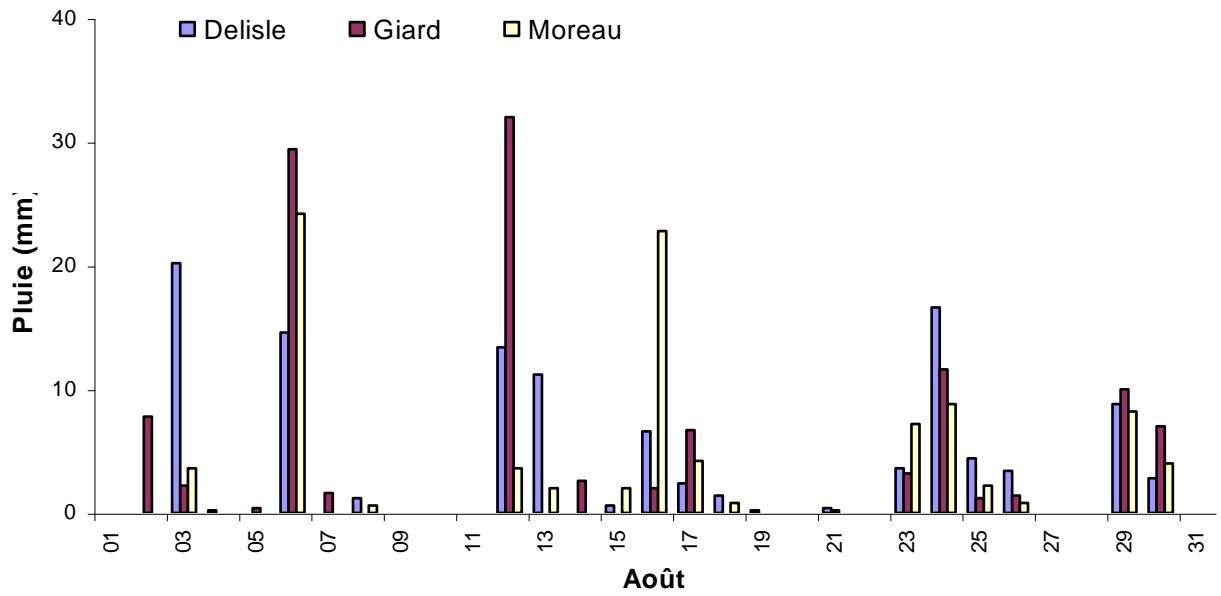


Figure 29. Pluviométrie mesurée sur les sites à l'étude en août 2007.

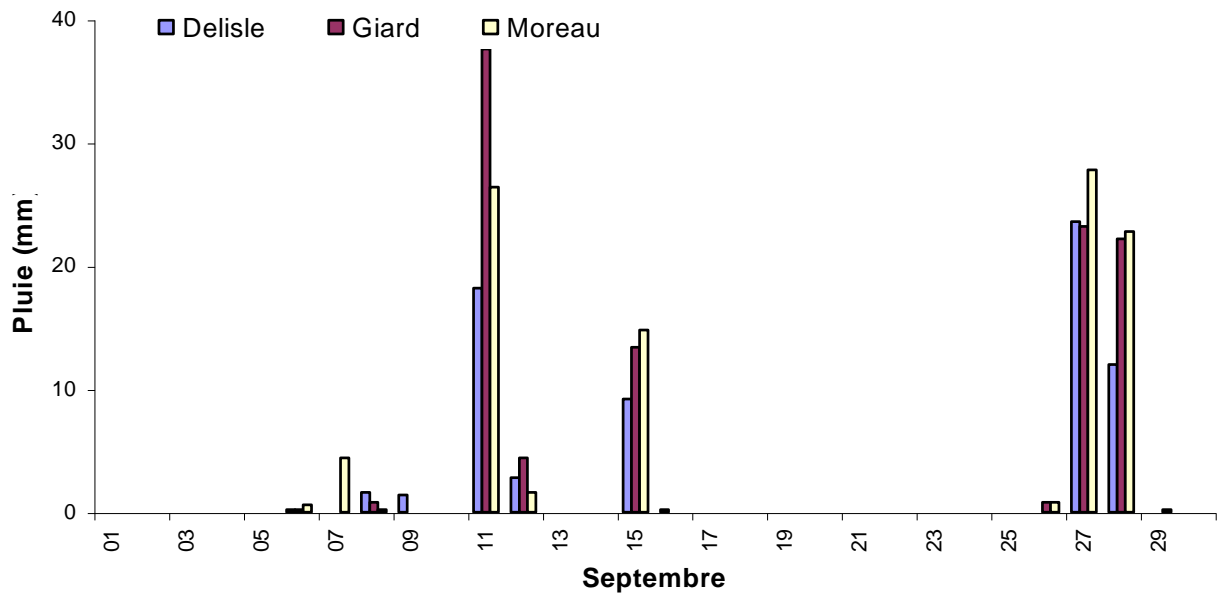


Figure 30. Pluviométrie mesurée sur les sites à l'étude en septembre 2007.

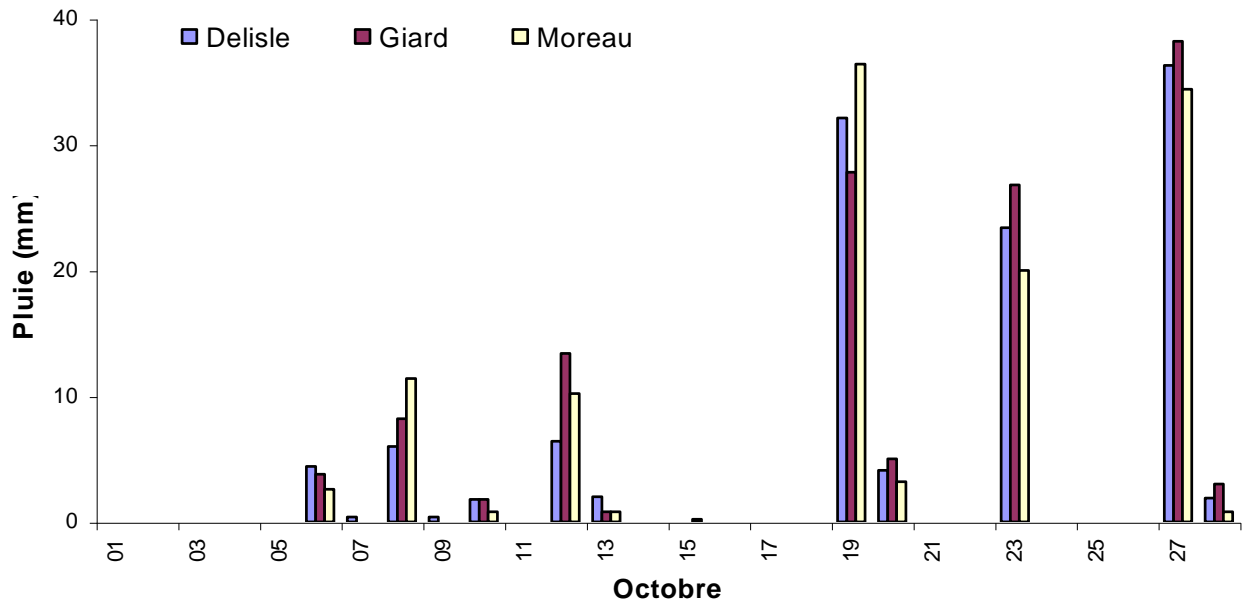


Figure 31. Pluviométrie mesurée sur les sites à l'étude en octobre 2007.

ANNEXE 5. Revue de littérature

Introduction

Cette revue de littérature se veut un survol des différentes recherches effectuées sur la question des besoins hydriques du bleuet en corymbe. Aucun article scientifique issu de projets réalisés au Québec n'a été recensé. Conséquemment, les études retenues ont été réalisées dans des conditions qui peuvent différer de celles prévalant au Québec. Cette situation exige d'avoir un regard critique à propos des résultats de recherche présentés et ils ne doivent pas être considérés comme des recommandations. D'autant plus que la régie d'irrigation universelle n'existe pas.

Dans ce contexte, cette revue de littérature propose un état de la situation en abordant les facteurs qui doivent être considérés dans la gestion de l'irrigation. En effet, le type de sol, l'âge du plant, son stade de développement, le cultivar et les pratiques culturales influencent à leur façon la décision d'irriguer ou non, la méthode d'application et la durée des applications.

Le sol, un réservoir

Le sol est un réservoir dans lequel l'eau apportée par la pluie et l'irrigation est emmagasinée. C'est dans ce réservoir que la plante va puiser l'eau dont elle a besoin pour croître normalement. La capacité d'un sol à emmagasiner l'eau varie entre autres selon la texture de ce dernier. En effet, les sols légers retiennent moins l'eau que les sols plus lourds, comme les argiles. On retrouve généralement le bleuet en corymbe dans des sols légers sablonneux ou graveleux, ce qui nécessite un suivi plus rigoureux de la condition hydrique du sol. Le tableau 1 présente la capacité d'un type de sol donné à retenir l'eau. À titre d'exemple, pour un sol sableux, 30 cm de sol vont retenir 2,1 cm d'eau. Fait à noter, la présence de gravier et l'apport de bran de scie et de tourbe au sol influent la capacité de rétention en eau des sols.

Tableau 1. Réserve utile en eau (RU) selon le type de sol

Type de sol	Réserve utile (mm/30 cm)
Sableux	21
Argile	54
Tourbe	105

Adapté de : Rieul et Ruelle, 2003

La nature du sol n'est pas le seul facteur à considérer. En effet, la capacité du réservoir est proportionnelle au volume de sol exploré par les racines. Comme le système racinaire du bleuet en corymbe est superficiel (Améglio et coll. 2000, Perrier et coll. 2000) et muni de peu de racelles, il importe d'en tenir compte pour évaluer les besoins en irrigation.

Par ailleurs, lorsque l'apport d'eau dépasse la capacité de rétention du sol, l'eau peut devenir une source de pollution diffuse si elle est chargée en nutriments (Starr et coll. 2004). La régie de l'eau influence les volumes et la qualité de la ressource, la durabilité et la qualité des sols et enfin, la santé humaine.

Facteurs à considérer

Une situation où le plant est en déficit hydrique peut porter préjudice au rendement et à la qualité des fruits. À l'implantation, une telle situation peut être fatale pour le plant car l'enracinement du plant est peu profond. À l'inverse, une situation où il y a un excès d'eau, l'activité racinaire peut être affectée négativement et se répercuter sur les rendements (Davies et Wilcox 1984). De plus, cette situation peut être favorable au développement de maladies fongiques causées par *Phytophthora cinnamoni* et *Phytium* spp. (Bryla et Linderman 2007, Silva et coll. 1999).

Une situation sans restriction hydrique est favorable au rendement et à la qualité du fruit. D'ailleurs, les périodes où s'effectue le grossissement du fruit et celle où les bourgeons floraux de l'année suivante se forment, ont été identifiées comme des périodes critiques pour les besoins en eau (Mingeau et coll. 2001, Lyrene et Crocker 1991, cité dans Haman et coll. 2005). D'autres ont conclu à des besoins en eau de 25 mm/semaine durant la période de croissance et de 38 mm/semaine lors du grossissement du fruit (Bell 1982, Freeman 1983).

Bryla et Strik (2007) ont observé que la demande en eau était différente entre les cultivars 'Duke' et 'Elliot'. Cette étude réalisée en Oregon avec des plants de 4^e et 5^e année a permis d'identifier des besoins de 35 à 70 mm/semaine pour 'Duke' et de 21 à 35 mm/semaine pour 'Elliot'. De plus, ils ont observé que la consommation d'eau diminuait brusquement après la récolte.

Lorsque les besoins en eau diminuent suite à la récolte des fruits, le suivi de la disponibilité en eau du sol demeure important. En effet, la formation des bourgeons floraux de l'année suivante a été identifiée comme une période critique. Conséquemment, si la fréquence et la durée des irrigations doivent être adaptées, il importe de satisfaire aux besoins du plant.

Haman et coll. (2005) ont vérifié l'influence de la densité de plantation sur les besoins en eau du bleuetier à sa 1^{ère} année. Réalisée en Floride, cette étude a identifié les besoins en eau pour le mois de juillet. Pour une densité de 1480 plants/ha les besoins en eau étaient de 28 mm, alors qu'ils augmentaient respectivement à 43 et 74 mm pour une densité de 2222 et 2960 plants/ha.

Haman et coll. (2005) ont voulu vérifier l'impact de deux volumes d'eau sur les rendements du cultivar 'Sharpblue' à leurs deux premières années de production, à une densité de plantation de 2470 plants/ha. En Floride, les rendements étaient supérieurs avec la régie d'irrigation maintenant le sol plus humide, soit 520 kg/ha contre 3080 kg/ha la 1^{ère} année et 820 kg/ha contre 2200 kg/ha la 2^e année.

Le système d'irrigation utilisé a un impact sur le rendement du bleuetier. Réalisée au Chili avec une densité de 2222 plants/ha, cette étude avait comme objectif de comparer l'impact sur les rendements d'un système goutte-à-goutte et microjet (petits asperseurs). Des rendements supérieurs ont été obtenus les deux premières années de production des plants avec le système goutte-à-goutte. Par contre, de la 4^e à 7^{ième} année, les rendements étaient supérieurs avec le système par aspersion, et ce, pour un même volume appliqué, soit 6200 m³/ha. Le système micro-asperseur permet de maintenir une plus grande surface de sol mouillée par rapport à un système goutte-à-goutte où le sol en périphérie du goutteur est moins affecté par les apports

d'eau au fur et à mesure qu'il est éloigné du goutteur. Conséquemment, dans les premières années, le système racinaire étant peu développé, le volume de sol humecté par les goutteurs suffit. Toutefois, au fil des années, le volume de sol exploité par les racines augmente et ce dernier peut ne pas être couvert par le système d'irrigation.

Conclusions

Pour effectuer une gestion efficace de l'irrigation, il faut d'abord connaître et considérer divers facteurs. En effet, la texture du sol et l'étendue du système racinaire renseignent sur le volume de sol à humidifier et la capacité du sol à retenir le volume d'eau appliqué. L'âge et le stade de développement du plant rappellent que les besoins en eau sont variables dans le temps. Une densité de plantation plus élevée augmente les besoins globaux en eau pour une même surface. Enfin, l'homogénéité d'application du système d'irrigation et les variations de texture du sol dans un même champ sont d'autres facteurs à considérer. Enfin, il est important d'utiliser des outils qui permettent de mesurer l'état hydrique du sol de façon objective et de les utiliser correctement.

Références

Améglio, T., X. Le Roux, M. Mingeau and C. Perrier. 2000. Water relations of highbush blueberry under drought conditions. *Acta Hort.* 537:273-277.

Bell, R. 1982. The blueberry. Department of Agriculture NSW, Sydney, Australia. Bull.

Bryla, D. R. and R. G. Linderman. 2007. Implications of irrigation method and amount of water application on Phytophthora and Pythium infection and severity of root rot in highbush blueberry. *HortScience.* 42(6):1463-1467.

Bryla, D. R. and B. C. Strik. 2007. Effects of cultivar and plant spacing on the seasonal water requirements of highbush blueberry. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 132(2):270-277.

Davies, F. S. and D. Wilcox. 1984. Waterlogging of containerized rabbiteye blueberries in Florida. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 109:520-524.

Freeman, B. 1983. Blueberry production, Agfact H3 1.4. Department of Agriculture, NSW, Australia.

Haman, D. Z., A. G. Smajstrla, R. T. Pritchard, F. S. Zazueta and P. M. Lyrene. 2005. Water use in establishment of young blueberry plants. University of Florida, BUL296. 9 p.

Lyrene, P. M. and T. E. Crocker. 1991. Commercial blueberry production in Florida. SS-FRC-002. Univ. of Fla. Coop Ext. Ser., Gainesville, Fl. 49 p.

Mingeau, M., C. Perrier and T. Améglio. 2001. Evidence of drought-sensitive periods from flowering to maturity on highbush blueberry. *Scientia Hort.* 89:23-40.

Perrier, C., M. Mingeau and T. Améglio. 2000. Effects of water stress on transpiration, radial growth and yield highbush blueberry. *Acta Hort.* 537:923-928.

Rieul, L. and P. Ruelle (coord.). 2003. Irrigation - Guide pratique. Cemagref. p. 8-11, 18-53, 79-82, 88 et 343.

Starr, G., R. M. Seymour, F. Olday and D. E. Yarborough. 2004. Determination of evapotranspiration and drainage in lowbush blueberries (*Vaccinium angustifolium*) using weighing lysimeters. *Small Fruit Rev.* 3:273-283.