



IMPACT STUDY ON THE SURFACE WATER AVAILABILITY FOR CROPS DURING AN INTENSIVE GROUND WATER PUMPING RESEARCH PROGRAM (PRACTICAL CASE OF THE CITY OF THETFORD MINES, QUEBEC)

Author #1 : Yves Choinière, ing. (Qc), agr. (Qc), P.Eng. (Ont. and NB)
Les Consultants Yves Choinière Inc., 84 Roy, Ange-Gardien, Québec, Canada J0E 1E0

Author #2 : Renée Lamontagne, ing. stag. (Qc), agr. (Qc)
Les Consultants Yves Choinière Inc., 84 Roy, Ange-Gardien, Québec, Canada J0E 1E0

Author #3 : André Laforest, ing. (Qc), hydrogeologist
Laforest Experts-Conseils, 1450, rue Esther-Blondin, bureau 200, Cap Rouge, Québec,
Canada G1Y 3N7

**Written for presentation at the
CSAE/SCGR 2005 Meeting
Winnipeg, Manitoba
June 26 - 29, 2005**

Abstract

Numerous municipalities are searching for new ground water wells in order to supply relatively large quantities of water (from 5 000 to 15 000 m³ / day). The well sites are located in agricultural areas with residential and farming neighbors. Since 2004, *Les Consultants Yves Choinière Inc.* are involved with a water research program. The role and task associated with agricultural engineers are to: 1) establish a water supply emergency program for animals and cropland, 2) verify the impact of the ground water pumping of large quantity of water on the availability of surface water for crops and 3) prepare a communication program for the residential and agricultural community.

A series of piezometers has been installed in a grass hay field in the vicinity of large volume ground water wells. The objective was to monitor the levels of the soil-water suction. Visual observations on the crops were collected. The suction levels were recorded for a period of two months (August – September 2004) and related to local rainwater measurements.

The conclusion of the study could be summarized as follow: 1) the rain water levels for August 2004 was close to normal. However, the levels for September and October 2004 were very dry (1.5 x STD) as compared to normal, 2) there was no effect among the piezometer locations for distances from 20 to 432 m of the main ground water well and 3) during the monitoring period, a maximum suction reading of 34 cbar was recorded. For this particular site, water availability for hay crop was not affected.

Key words: drinking water, water well, water availability for crops.

The complete text is written in French. Please contact the principal authors if translation is needed.

Papers presented before CSAE/SCGR meetings are considered the property of the Society. In general, the Society reserves the right of first publication of such papers, in complete form; however, CSAE/SCGR has no objections to publication, in condensed form, with credit to the Society and the author, in other publications prior to use in Society publications. Permission to publish a paper in full may be requested from the CSAE/SCGR Secretary, PO Box 316, Mansonville, QC J0E 1X0. Tel/FAX 450-292-3049. The Society is not responsible for statements or opinions advanced in papers or discussions at its meetings.

*The Canadian society for
engineering in agricultural,
food, and biological systems*

C
S
A
E



S
C
G
R

*La société canadienne
de génie agroalimentaire
et biologique*

Résumé

Plusieurs municipalités sont à la recherche de nouveau puits pour l'approvisionnement en eau potable de source souterraine. Ces puits doivent fournir de relativement grandes quantités d'eau de l'ordre de 5 000 à 15 000 m³ / jour. Les nouveaux sites sont souvent localisés dans les territoires agricoles en présence d'un voisinage résidentiel et surtout, en production agricole. Depuis 2004, *Les Consultants Yves Choinière Inc.* sont impliqués dans le programme de recherche en eau souterraine de la ville de Thetford Mines comme experts en génie agricole et agronomie. Le rôle et les tâches associés au mandat sont : 1) établir un programme de mesure d'urgence pour l'approvisionnement en eau potable pour les animaux de ferme et la population locale au site des essais de pompage, 2) vérifier les impacts des essais de pompage d'eau en grande quantité sur la disponibilité de l'eau de surface pour les cultures de foin et 3) préparer un plan de communication pour les résidences et producteurs agricoles avoisinants.

Une série de piézomètre a été installé dans les champs de foin avoisinant les puits des essais de pompage. L'objectif premier est de mesurer les niveaux de succion entre le sol et l'eau libre disponible pour les plantes. Les observations visuelles sur les plantes complètent l'étude. Les niveaux de succion ont été enregistrés durant une période de 2 mois (août – septembre 2004) et reliés aux données météorologiques locales de pluviométrie.

Voici un résumé des conclusions de cette étude : 1) la pluviométrie du mois d'août 2004 était près des normales. Les niveaux de septembre et octobre 2004 étaient très faibles (1.5 x dev. STD) comparativement aux normales, 2) il n'y a pas d'effet de localisation entre les piézomètres avec des distances de 20 à 432 m des puits d'essais de pompage et 3) durant la période de mesure, le niveau maximum de succion enregistré était de 34 cbar. Pour ce site de recherche en eau, la disponibilité d'eau pour les plantes n'a pas été affectée.

Mots-clés : eau potable, puits, disponibilité d'eau, culture.



ÉTUDE SUR LA DISPONIBILITÉ D'EAU POUR LES CULTURES SUR LES TERRES AGRICOLES AVOISINANTES AUX ESSAIS DES PUITES DE POMPAGE DE LA VILLE DE THETFORD MINES

REVUE DE LITTÉRATURE

L'eau, le sol et les plantes

L'eau et le sol, avec ces éléments nutritifs, sont essentiels pour la croissance de la végétation, autant des arbres que des plantes nécessaires à la production animale. L'eau présente dans le sol se divise sous trois formes, soit en une eau libre, capillaire et hydroscopique (CPVQ, 1998).

L'eau libre est celle qui est en surplus, en excès. Elle utilise l'espace qu'occupe l'air du sol allant même jusqu'à saturer le sol. Elle est rarement utilisée par les plantes. L'eau libre excédentaire doit être drainée pour permettre une croissance optimale des plantes. Dans la majorité des terres du Québec, des systèmes de drainage souterrain sont installés pour évacuer la portion d'eau libre des sols. Un excès d'eau libre à long terme cause des pertes de rendement des cultures.

L'eau capillaire représente la proportion de l'eau dans le sol qui est utilisable pour les plantes. Cette eau circule dans le sol par capillarité, c'est-à-dire « *une ascension ou mouvement de l'eau dans les pores du sol, sous l'action des forces capillaires dues à la tension superficielle de l'eau* » (Le grand dictionnaire terminologique).

L'eau hydroscopique est l'eau qui ne peut être utilisée par les plantes puisqu'elle est retenue par le sol. Dans ces cas, des pertes de rendement des plantes sont observées. L'eau disponible pour la plante est comprise entre la capacité au champ et le point de flétrissement. Elle correspond à l'eau utile. Cette portion limite la production du sol. La capacité au champ est la portion d'eau qui demeure dans le sol, 24 heures suite à une forte précipitation.

Le point de flétrissement correspond au moment où l'eau est fortement retenue dans le sol, pour que les racines ne puissent utiliser l'eau. L'eau est très peu mobile et où la plante donne des signes qu'elle fane, l'irrigation doit être débutée avant d'atteindre le point de flétrissement. La figure 1 illustre l'état de l'eau dans le sol. Lorsque le sol est saturé, l'eau s'écoule pour atteindre la capacité au champ. Cette capacité correspond au maximum d'eau qui est retenu dans le sol, suite à une saturation.

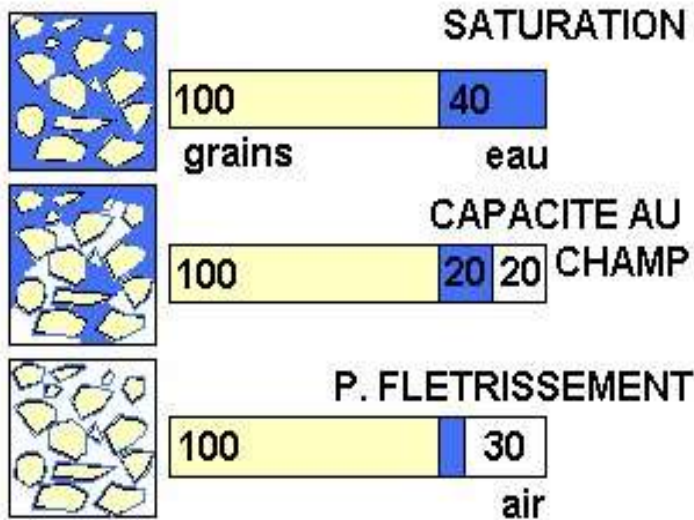


Figure 1 : L'état de l'eau dans le sol

(Tirée de : L'eau et le sol, www.u-picardie.fr/~beaucham/cours-du/du-6.htm)

Le tableau 1, tiré du document de Gallichand (1983), illustre les succions du sol auxquelles l'irrigation doit commencer. La tension ou la succion telle que définie par Gallichand (1983) est la force que les particules de sol exercent sur l'eau du sol. La culture de foin de graminée a une profondeur d'enracinement de 50 à 80 cm dans le sol (Gallichand J. et Brochu Y., 1983). La succion pour une culture semblable, la luzerne, avant de commencer l'irrigation est de 150 cbars. Des valeurs de 30 à 100 cbars sont présentées pour la culture du gazon. Une donnée précise pour les prairies de graminées n'est pas disponible. Par contre, cette donnée donne une valeur de référence et doit être ajustée selon différentes conditions d'utilisation.

Tableau 1 : Succions du sol auxquelles l'irrigation doit être commencée pour obtenir une récolte maximale. (Tiré de Gallichand, 1983)

Culture	Succion du sol (cbars)
Gazon	30 - 100
Petits grains – stage végétatif (vegetative)	40 - 50
Petits grains – développement des grains (ripening)	800 - 1 200
Luzerne	150
Maïs – stade végétatif (vegetative)	50
Maïs – stade de développement des épis (ripening)	800 - 1 200



La figure 2 est une synthèse des éléments cités et démontre les relations entre la disponibilité de l'eau pour les plantes mais aussi, la capacité de rétention de l'eau dans le sol.

Caractéristiques de rétention de l'eau	Disponibilité à la plante	État de liaison
<p>Saturation</p> <p>Capacité au champ</p> <p>Eau non disponible</p> <p>Point de flétrissement</p>	<p>Eau absorbée par les particules de sol</p>	<p>Eau hygroscopique</p>
<p>Eau très peu mobile, utilisable seulement au contact des poils absorbants</p>	<p>Eau peu mobile</p>	<p>Eau capillaire</p>
<p>Réserve utile</p> <p>Réserve facilement utilisable</p>	<p>Eau mobile, source essentielle d'approvisionnement à la plante</p>	
	<p>Eau très mobile, très rarement utilisée par la plante</p>	<p>Eau libre</p>

Figure 2 : Caractéristique de l'eau du sol
(D'après Gallichand, 1983)



Tensiomètre

Le tensiomètre est reconnu comme étant un excellent moyen pour mesurer le potentiel hydrique dans les sols. Il s'agit d'une variable environnementale importante pour différents processus tels que la croissance des plantes et pour la recharge de l'aquifère (Dane, 2002).

Le tensiomètre est composé d'une bougie en céramique poreuse, reliée à un tube creux et un manomètre. La figure 3 est un schéma d'un tensiomètre.

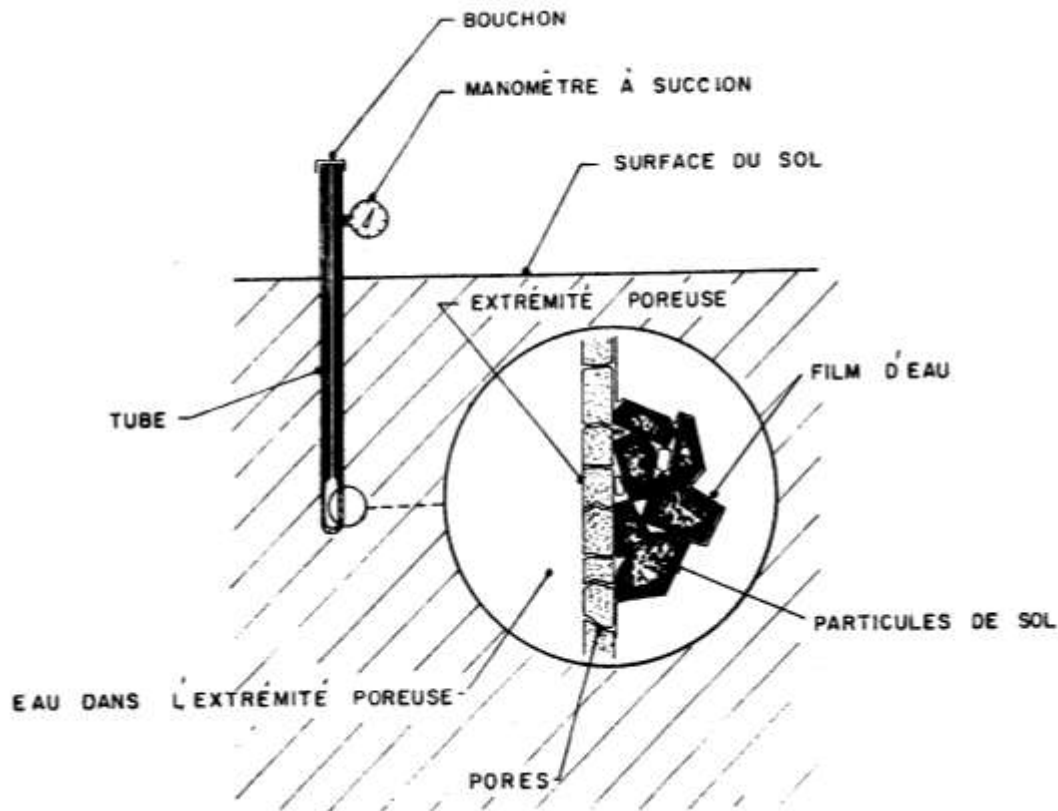


Figure 3 : Représentation schématique d'un tensiomètre
(D'après Gallichand, 1983)

Le tableau 2 permet d'interpréter les lectures du tensiomètre avec la disponibilité de l'eau pour la plante. Une lecture à 0 cbar démontre que le sol est saturé et plus que la lecture augmente, plus la quantité d'eau disponible pour la plante diminue.



Tableau 2 : Guide approximatif pour interpréter les lectures du tensiomètre. (Tiré de Gallichand, 1983)

	Lecture du tensiomètre (centibars)	Interprétation
Sol presque saturé	0	Le sol est presque saturé pendant le ou les deux jours qui suivent l'irrigation. Il peut y avoir danger de mauvaise aération du sol, d'une nappe d'eau haute ou de décharge du tensiomètre si la lecture persiste.
	10	
Capacité au champ	11	L'irrigation est interrompue à ces valeurs pour prévenir les pertes par l'infiltration profonde et le lessivage des éléments nutritifs de la zone des racines. Les sols sableux seront à capacité au champ vers 11 cbars et les sols argileux vers 25 – 30 cbars.
	20	
	30	
Irrigation	40	Valeurs habituelles pour commencer l'irrigation. Pas de problème d'aération du sol. En général, l'irrigation commence à des lectures de <u>30-40 dans les sols sableux</u> , (sable loameux et loam sableux), <u>40-50 dans des sols loameux</u> (loam sableux très fin, loam limoneux) et <u>50-60 dans les sols argileux</u> (loam limono-argileux et argile limoneuse). En commençant l'irrigation à ces valeurs, on maintient la réserve utile à un niveau normal.
	50	
	60	
Sol sec	70	Valeur du stress hydrique. Toutefois, la culture n'est pas nécessairement endommagée ou le rendement compromis. Un peu d'eau est encore facilement utilisable par la plante, mais la réserve facilement utilisable devient dangereusement basse.
	80	
		Valeur maximale qui peut être mesurée par un tensiomètre. Des lectures au-dessus de 80 cbars sont possibles, mais le tensiomètre se déchargera entre 80 et 90.

Plusieurs facteurs peuvent modifier l'interprétation des lectures des tensiomètres. Le premier est le type de sol, qui a un impact important sur la tension de l'eau dans le sol, donc de la disponibilité de l'eau dans le sol. Le tableau 3 démontre ce premier facteur. Pour une même tension d'eau, la disponibilité de l'eau varie du simple au triple pour une tension de 20 cbars. La figure 4 montre les courbes de rétention de l'eau pour différents types de sol. Il est possible de remarquer que pour une même tension de l'eau dans le sol, la réserve utile en eau varie considérablement.

Le deuxième facteur est le phénomène hystérésis. Gallichand (1983) décrit ce phénomène. Pour une même teneur en eau du sol, la tension va varier tout dépendant s'il s'agit d'une période d'humidification du sol ou d'assèchement.



Les autres facteurs sont le changement de climat, qui inclut le phénomène d'évapotranspiration, ainsi que la variabilité de la culture, de l'emplacement même des tensiomètres et le moment dans la journée où s'effectue les lectures peuvent modifier l'interprétation des lectures faites sur les différents tensiomètres.

Tableau 3 : Relation entre la tension de l'eau du sol en cbar et la réserve utile en mm d'eau / m de sol. (Tiré de Gallichand, 1983)

Type de sol	Tension de l'eau du sol (cbars)			
	20 (Sa)	50	250	1 500
Argile lourde	180	150	80	0
Argile limoneuse	190	170	100	0
Loam	200	150	70	0
Loam limoneux	250	190	50	0
Loam argilo-limoneux	160	120	70	0
Sols à texture fine	200	150	70	0
Loam sablo-argileux	140	110	60	0
Loam sableux	130	80	30	0
Sable loameux	140	110	50	0
Sols à texture moyenne	140	100	50	0
Sable moyen	60	30	20	0
Sols à texture grossière	60	30	20	0

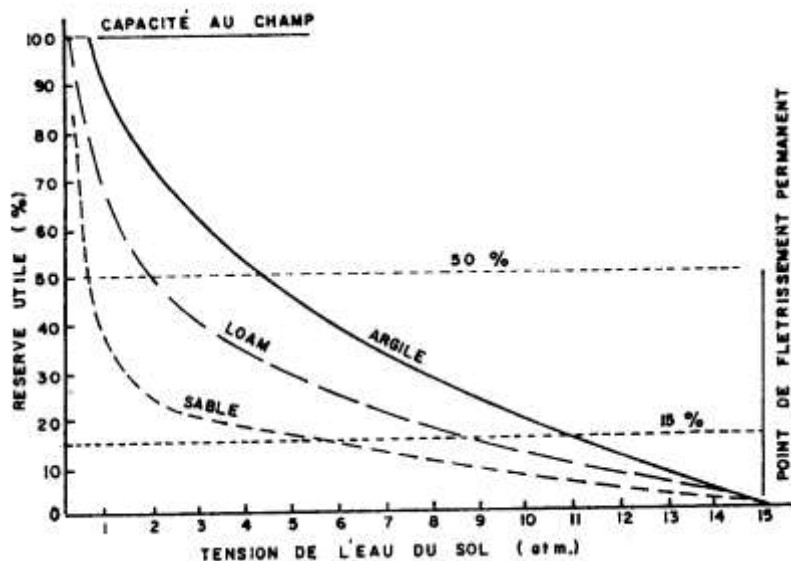


Figure 3 : Courbes de rétention d'eau pour trois différents sols
(Tiré de Gallichand, 1983)

1 atm = 98.69 cbars 1 cbar = 1 kPa cbar = 4.016" d'eau

*The Canadian society for
engineering in agricultural,
food, and biological systems*

C
S
A
E



S
C
G
R

*La société canadienne
de génie agroalimentaire
et biologique*

MÉTHODOLOGIE

Six tensiomètres ont été installés sur la ferme en culture de foin et prairie de M. Conrad Lamontagne sur le lot 136-P, Municipalité de Irlande pour évaluer la disponibilité de l'eau pour les plantes, durant des essais de pompage par la Ville de Thetford Mines à Irlande.

La localisation des tensiomètres a été déterminée par *Laforest Experts-Conseil Inc.* et est démontrée aux figures de l'annexe 1. La calibration et l'installation ont été faites par le personnel de *Laforest Experts-Conseil Inc.* selon les spécifications décrites dans « Tensiometer User's Guide » de la compagnie *Earth Systems Solutions*. L'erreur du tensiomètre à la lecture est de 1 cbar.

Les lectures des tensiomètres ont été relevées et notées par le personnel de *Laforest Experts-Conseil Inc.* ainsi que par M. Conrad Lamontagne à différents intervalles. La période de prises de données a débuté le 2 août 2004 et s'est terminée le 4 octobre 2004 pour *Laforest Experts-Conseil Inc.* et a débuté le 30 juillet 2004 et s'est terminée le 2 octobre 2004 pour M. Conrad Lamontagne. Ces données sont présentées à l'annexe 1.

ANALYSE DES RÉSULTATS

L'analyse des résultats a pour objectif de déterminer si les essais de pompage ont eu un impact sur la disponibilité de l'eau pour les cultures. Cette analyse se base sur : 1) les données de la précipitation, 2) les données des tensiomètres, 3) l'effet de lieu des tensiomètres et 4) la disponibilité de l'eau pour les plantes.

Précipitation

La pluie modifie la tension de l'eau dans le sol. Le premier paramètre à analyser est la précipitation qui est tombée pour le mois de juillet jusqu'au mois d'octobre 2004. Les données proviennent de la station de St-Ferdinand (no 7027248) ainsi que de la station de Thetford Mines (no 7028441). La station de St-Ferdinand est la plus près des essais de pompage. Les données sont présentées sous forme de graphique à l'annexe 2 et aux tableaux suivants :



Tableau 4 : Précipitation pour la station de St-Ferdinand* (no 7027248)

Mois	Précipitation				Analyse	
	Mensuelle 2004 (mm)	Normale 1997- 1998 (mm)	Coefficient de variation	Écart- type ¹ (mm)	Normale + écart-type (mm)	Normale - écart- type (mm)
Juillet	166.2	114.6	56.5	64.7	179.3	49.9
Août	134.2	130.8	36.7	48.0	178.8	82.8
Septembre	57.0	108.2	29.7	32.1	140.3	76.1
Octobre	60.1	101.4	34.0	34.5	135.9	66.9

Tableau 5 : Précipitation pour la station de Thetford Mines* (no 7028441)

Mois	Précipitation				Analyse	
	Mensuelle 2004 (mm)	Normale 1997- 1998 (mm)	Coefficient de variation	Écart- type ¹ (mm)	Normale + écart-type (mm)	Normale - écart- type (mm)
Juillet	209.8	124.3	49.7	61.8	186.1	62.5
Août	154.0	149.8	40.3	60.4	210.2	89.4
Septembre	39.8	116.9	32.6	38.1	155.0	78.8
Octobre	57.0	101.3	30.1	30.5	131.8	70.8

* : Ces données proviennent du Service de l'information sur le milieu atmosphérique, à la Direction du suivi de l'état de l'environnement, du ministère de l'Environnement (annexe 5). La personne contactée est Philippe Saucier, M. Sc.

¹ : L'écart type est déterminé avec la formule (1) suivante :

$$\text{Écart-type} = \frac{\text{Coefficient de variation} \times \text{normale}}{100} \quad (1)$$

Il est important de noter que nous n'avons pas tenu compte de l'évapotranspiration durant cette période. En regardant ce tableau, on remarque que les précipitations qui sont tombées au mois de juillet et au mois d'août sont « normales » pour la station de St-Ferdinand puisqu'elles sont comprises dans l'intervalle de la normale \pm un écart-type. Par contre, pour les mois de septembre et d'octobre, les précipitations ont été « anormales » puisqu'elles sont inférieures à la normale moins un écart-type.

*The Canadian society for
engineering in agricultural,
food, and biological systems*

C
S
A
E



S
C
G
R

*La société canadienne
de génie agroalimentaire
et biologique*

Donc, nous pouvons conclure que la pluviométrie observée a été significativement inférieure aux normales des mois de septembre et d'octobre. Les mois de juillet et d'août ont été pluvieux plus que la normale mais non pas de façon excessive.

Analyse des données des tensiomètres

La lecture de tension est directement reliée à la disponibilité de l'eau pour les plantes. La mesure de la tension est modifiée en fonction des conditions climatiques, par exemple la durée d'ensoleillement ainsi que les précipitations. Les données de M. Conrad Lamontagne et de Laforest Experts-Conseils Inc. sont valables et similaires. Les données sont présentées aux graphiques 1 et 2.

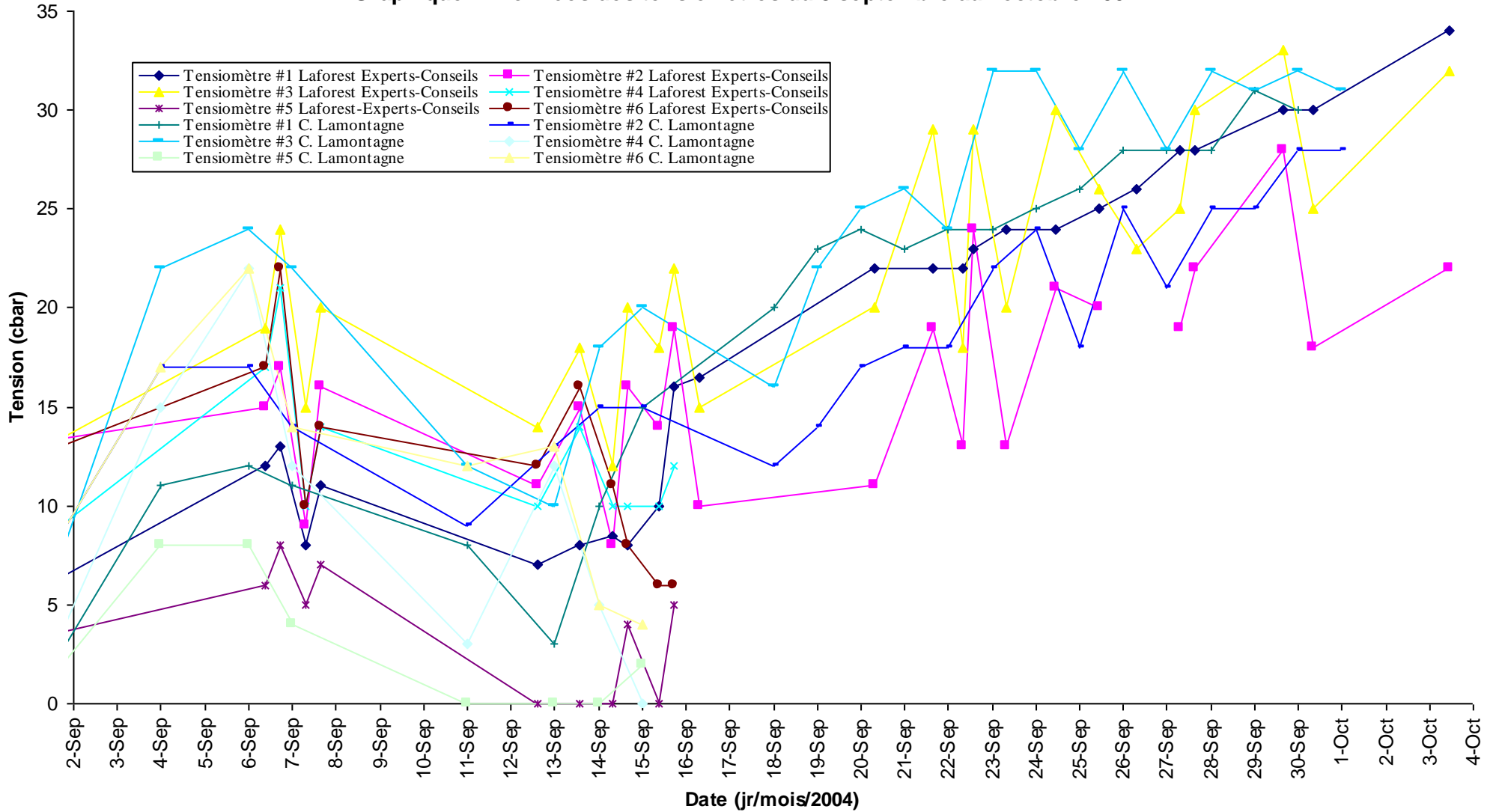
es valeurs varient de 0 à 34 cbars. Les données prises la même journée ainsi que les journées précédentes ou suivantes varient de 23 à 32 cbars.

Les prises de données des tensiomètres n° 4, n° 5 et n° 6 à partir du 17 septembre 2004 ont été interrompues par cause de bris d'équipement.

À partir du 17 septembre 2004, les données des tensiomètres tendent à augmenter, ce qui indique que l'eau du sol était retenue plus fortement par les particules de sol, donc moins disponible pour les plantes. Ce moment correspond à la période où les précipitations ont grandement diminué. Les résultants présentent des valeurs à 35 cbars pour tous les tensiomètres. Pratiquement, en aucun temps, les plantes ont subi un manque d'eau disponible pour la croissance.



Graphique 2: Données des tensiomètres du 3 septembre au 4 octobre 2004





L'effet de lieu des tensiomètres

Les tensiomètres sont positionnés à différentes distances du puits n° 4 des essais de pompage. Pour vérifier s'il y a un effet de localisation, les piézomètres n° 3 et n° 4 ont servi de référence. Une analyse des écarts relatifs aux tensiomètres n° 3 et n° 4 a été réalisée.

Les moyennes arithmétiques démontrent qu'il n'y a pas d'effet de lieu pour les tensiomètres n° 2, n° 3, n° 4, n° 5 et n° 6 malgré la grande distance qui les séparent. Les différences sont de ± 3 à 0 cbars entre les tensiomètres. Voici un résumé de l'analyse :

1. Dans presque tous les cas, le tensiomètre n° 1 présente une lecture de tension moins élevée que les tensiomètres n° 2 à n° 6. L'eau est donc disponible pour les plantes malgré le fait que ce tensiomètre soit localisé le plus près du puits des essais de pompage.
2. À partir du début du mois de septembre 2004, le tensiomètre n° 2 montre des signes de disponibilité d'eau plus élevée comparativement aux tensiomètres n° 3 et n° 4 localisés plus loin du puits de pompage.
3. Le tensiomètre n° 4 indique que l'eau est plus facilement utilisable par la plante que le tensiomètre n° 2 (différence non-significative).
4. Les tensiomètres n° 5 et n° 6 sont similaires, les écarts sont semblables. Il n'y a pas d'effet de lieu. L'étude des écarts entre les lectures des tensiomètres n° 1 à n° 6 permet de conclure qu'il n'y a pas d'effet significatif de localisation des tensiomètres.

Disponibilité de l'eau pour les plantes

La culture récoltée dans ces parcelles est de la prairie de graminée. Selon les références déjà mentionnées, les plantes n'auraient pas eu de déficit en eau. Malgré les essais de pompage situés à proximité, les données maximales relevées sont à 34 cbars, alors que la référence pour débiter l'irrigation, la tension doit être de 30 à 100 cbars.

CONCLUSION

Voici les points à retenir :

1. Il n'y a pas de différence entre les relevés effectués par le personnel de Laforest Experts Conseil et M. Conrad Lamontagne, propriétaire de la ferme.
2. Il n'y a pas de différences entre les 6 localisations des tensiomètres, pour des distances de 20 à 432 mètres entre les tensiomètres n° 1 et n° 6.
3. Les essais de pompage de la Ville de Thetford Mines à Irlande n'ont pas eu d'effet sur la disponibilité de l'eau pour les cultures de prairie de graminée pour la saison de culture 2004.

*The Canadian society for
engineering in agricultural,
food, and biological systems*

C
S
A
E



S
C
G
R

*La société canadienne
de génie agroalimentaire
et biologique*

RÉFÉRENCES

Beauchamp, Jacques. « L'eau et le sol », [En ligne], [s.d.], [www.u-picardie.fr/~beaucham/cours-du/du-6.htm], (30 novembre 2004).

Conseil des Productions Végétales du Québec Inc. 1998. *Plantes fourragères*, 2^e édition, AGDEX 120/20, ISBN 2-89457-172-0, 251 pages.

Dane J. H. et G. C. Topp. Eds, 2002. *Methods of Soil Analysis*, Part 4, Physical Methods : Madison, WI, Soil Science Society of America, Soil Science Society of America Book Series Number 5, ISBN 0-89118-810-X, 1692 pages.

Earth Systems Solutions. Tensiometer User's Guide, [En ligne], [s.d.], [<http://www.earthsystemssolutions.com/assets/TensiometerUsersGuide.html>], (30 novembre 2004).

Gallichand, J. et Y. Brochu. 1983. *Irrigation, dosage et moment d'application*. Direction de l'hydraulique agricole, du machinisme et des constructions rurales, Gouvernement du Québec. ISBN 2-551-06199-7, 76 pages.

Office québécois de la langue française. *Le grand dictionnaire terminologique*, [En ligne], [s.d.], [w3.granddictionnaire.com/btml/fra/r_motclef/index800_1.asp], (3 décembre 2004).

*The Canadian society for
engineering in agricultural,
food, and biological systems*

C
S
A
E



S
C
G
R

*La société canadienne
de génie agroalimentaire
et biologique*

**ANNEXE 1
LOCALISATION DES PIÉZOMÈTRES AU SITE DES ESSAIS DE POMPAGE**

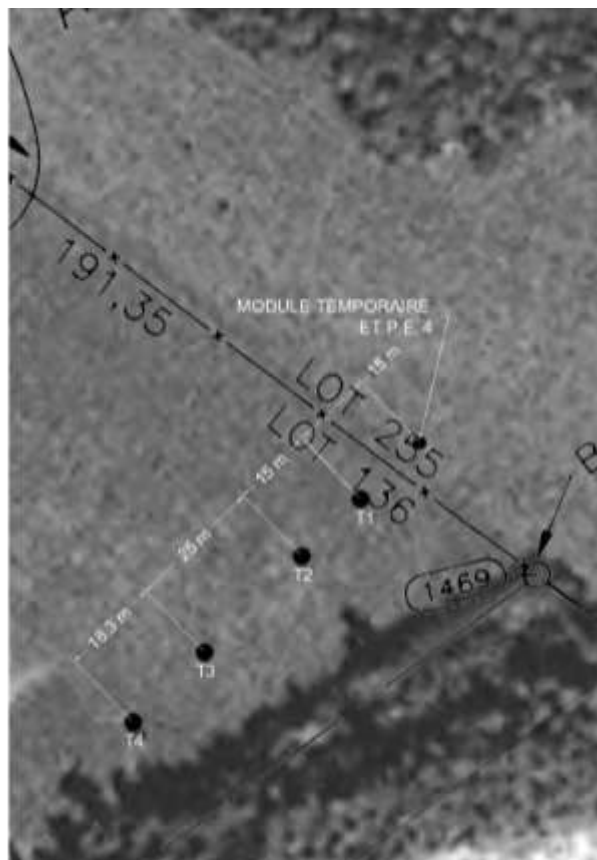




ANNEXE 1 SUITE
LOCALISATION DES PIÉZOMÈTRES AU SITE DES ESSAIS DE POMPAGE



DÉTAIL DE LA LOCALISATION
DES PIÉZOMÈTRES ET DE 26.



DÉTAIL DE LA LOCALISATION
DES PIÉZOMÈTRES ET DE 26.



ANNEXE 2
GRAPHIQUE A.1 - PRÉCIPITATION POUR LA STATION DE THETFORD MINES ET DE ST-FERDIAND ENTRE
LE 30 JUILLET ET LE 14 OCTOBRE 2004

