

Étude d'acquisition de connaissances sur la détermination de l'existence de patrons éventuels d'assèchement ou d'humidité dans un sol agricole en relation avec le rendement en pommes de terre et la perte des nitrates

PAECQ 5218

Syndicat des producteurs de pommes de terre de la région de Québec

Rapport final



Mars 2007 à mars 2008

Carl Boivin, chercheur, agr., M.Sc. – IRDA
Christine Landry, chercheure, biologiste, agr., M.Sc. – IRDA
Jean Caron, chercheur, agr., Ph.D. – Université Laval

Avec la collaboration de
Julie Mainguy, professionnelle de recherche, agr. – IRDA
Danièle Pagé, t.a. – IRDA
Daniel Bergeron, conseiller horticole, agr. – MAPAQ

Mai 2008

PROGRAMME D'APPROVISIONNEMENT EN EAU CANADA-QUÉBEC

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



Pour plus d'information :



Table des matières

1	DESCRIPTION DU PROJET	4
1.1	INTRODUCTION	5
1.2	OBJECTIF GÉNÉRAL	6
1.3	OBJECTIFS SPÉCIFIQUES	6
1.4	ATTEINTE DES OBJECTIFS	7
1.5	ÉTAPES ET ÉCHÉANCES	9
2	RÉSULTATS ET ANALYSES	10
2.1	MISE EN PLACE DE L'EXPÉRIENCE	10
2.2	DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL	10
2.3	COLLECTE DES DONNÉES	12
2.4	ANALYSE DES DONNÉES	13
2.5	RÉSULTATS OBTENUS POUR LA SAISON 2007 SELON LES OBJECTIFS SPÉCIFIQUES	14
2.5.1	<i>Déterminer si les patrons de variabilité observés correspondent à une distribution aléatoire du potentiel hydrique ou s'ils reflètent une structure spatiale constante, correspondant à des variations de texture du sol ou d'élévation du relief.</i>	14
2.5.2	<i>Cartographier les zones d'irrigation dites sèches, moyennes et intermédiaires dans un champ donné.</i>	19
2.5.3	<i>Relier les patrons d'humidité observés aux rendements en pommes de terre.</i>	22
2.5.4	<i>Évaluer le nombre minimal de tensiomètres requis pour détecter un stress hydrique avec une précision de 5%.</i>	25
2.5.5	<i>Établir un lien de cause à effet entre la variabilité de la teneur en eau d'un champ et la descente des nitrates au travers du profil de sol par lessivage.</i>	26
2.5.6	<i>Étudier l'impact possible des zones de variabilité sur la qualité des tubercules incluant le poids spécifique, le contenu en nitrates et les taux de maladies fongiques, telles la rhizoctonie et la gale.</i>	30
2.5.7	<i>Vérifier l'impact économique d'une telle pratique en estimant les pertes de revenus engendrées par les baisses de rendements occasionnées par les zones de variabilité en humidité du sol.</i>	31
2.5.8	<i>Acquérir les connaissances préalables à la rationalisation adéquate de l'application de l'eau en fonction des zones sèches ou humides existantes dans un champ donné dans le but d'uniformiser la teneur en eau du champ et, incidemment, les rendements en pommes de terre.</i>	31
3	IMPACT	42
3.1	IMPACT SUR LE SECTEUR	42
3.2	PÉRENNITÉ DU PROJET	42
4	REMERCIEMENTS	43
5	RÉFÉRENCES	43
6	PLAN DE FINANCEMENT ET CONCILIATION DES DÉPENSES	43

Liste des figures

Figure 1. Carte satellite du champ à l'étude où les sites de mesures de la tension de l'eau dans le sol sont indiqués par un point jaune.	11
Figure 2. Variogramme anisotrope pour la période (1 ^{ère}) sèche du mois d'août.	15
Figure 3. Variogramme anisotrope pour la période (2 ^e) humide du mois d'août.	15
Figure 4. Variogramme anisotrope pour la période (3 ^e) près de la capacité au champ du mois de septembre.	16
Figure 5. Rétention en eau du sol par l'argile.	18
Figure 6. Cartographie des zones d'humidité pour la période dite humide (2 à 8 kPa).	20
Figure 7. Cartographie des zones d'humidité pour la période dite sèche (7 à 13 kPa).	20
Figure 8. Cartographie des zones d'humidité pour la période près de la capacité au champ en septembre (2 à 8 kPa).	21
Figure 9. Relation entre la tension de l'eau dans le sol et le rendement vendable mesuré pour les sites de mesures T1 à T10.	23
Figure 10. Cartographie des diverses zones de rendement vendable ($T \text{ ha}^{-1}$).	24
Figure 11. Cartographie des zones de tension de l'eau dans le sol pour la période dite humide (kPa).	24
Figure 12. Teneurs en nitrates au travers du profil de sol en cours de saison.	27
Figure 13. Courbes de conductivité hydraulique non saturée, échantillon T5A500.	35
Figure 14. Courbes de rétention d'eau en désorption et sorption représentatives pour le champ à l'étude.	37
Figure 15. Direction de l'écoulement des eaux de surface en condition de sol saturée.	39
Figure 16. Relevé topographique du champ à l'étude.	40
Figure 17. Pluviométrie mesurée sur le site à l'étude du 25 mai au 30 juin 2007.	44
Figure 18. Pluviométrie mesurée sur le site à l'étude en juillet 2007.	44
Figure 19. Pluviométrie mesurée sur le site à l'étude en août 2007.	45
Figure 20. Pluviométrie mesurée sur le site à l'étude en septembre 2007.	45
Figure 21. Pluviométrie mesurée sur le site à l'étude du 1 ^{er} au 17 octobre 2007.	46
Figure 22. Champ à l'étude.	47
Figure 23. Tensiomètre sans fil (Hortimètre T-80).	47

Liste des tableaux

Tableau 1. Coefficient de corrélation (r) entre la tension en eau du sol et le taux de matière organique, la texture du sol et la topographie du champ à l'étude.....	18
Tableau 2. Coefficient de corrélation (r) entre les rendements et la tension de l'eau dans le sol.	22
Tableau 3. Détermination du nombre de tensiomètres nécessaires pour obtenir le niveau de confiance souhaitée.	25
Tableau 4. Coefficient de corrélation (r) entre le contenu en nitrates au travers du profil de sol et la teneur en eau du sol au cours des cinq périodes étudiées.....	26
Tableau 5. Corrélation entre le contenu en nitrates au travers du profil de sol et certains paramètres de sol en cours de saison.....	29
Tableau 6. Coefficient de corrélation (r) entre la tension en eau du sol et la qualité des tubercules.	30
Tableau 7. Propriétés physiques des échantillons de sol prélevés en 30 points dans le champ....	32

Liste des annexes

ANNEXE 1. Pluviométrie.....	44
ANNEXE 2. Photos	47

1 DESCRIPTION DU PROJET

1.1 Introduction

La culture de la pomme de terre s'effectue généralement en sols légers, c'est-à-dire sur des sols qui contiennent une forte proportion de sable. Ceux-ci sont plus susceptibles à la sécheresse en raison d'une faible capacité de rétention en eau qui découle de leur capacité de drainage plus élevée. La teneur en eau de ces sols peut ainsi devenir rapidement un facteur limitant pour le développement de la plante lorsque l'eau disponible est insuffisante, ou être une source de pollution diffuse lorsque sa teneur dépasse la capacité de rétention du sol en eau. Par exemple, ces sols présentent un risque plus élevé de perte en éléments fertilisants, tel que le N, principalement via le lessivage des nitrates. Puisque la modification des caractéristiques physiques d'un sol n'est guère envisageable et considérant le temps nécessaire pour engendrer des changements, intervenir sur la régie de culture demeure la meilleure option à court terme.

La pratique de l'irrigation s'inscrit dans cette lignée. En contrepartie de ses bienfaits, elle consomme cependant une grande quantité d'eau douce. Il est donc important d'en faire une utilisation rationnelle et d'éviter toute surconsommation. La gestion optimale de l'irrigation ne peut toutefois être généralisée d'un endroit à un autre car elle est influencée par maints facteurs tels le climat, les types de cultures et les singularités propres à chaque région.

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, ce qui est cependant trop complexe et coûteux en contexte de production commerciale. De façon plus efficiente, cette décision peut toutefois se baser sur des mesures de disponibilité de l'eau dans le sol. Les mesures prises avec des tensiomètres sont depuis longtemps perçues comme la meilleure estimation de disponibilité de l'eau du sol à la plante (Taylor, 1965; Kramer, 1983) et offre ainsi une méthode de gestion de l'irrigation facilement utilisable en contexte de production commerciale. Cette gestion sera d'autant plus efficace, qu'il sera déterminé si des zones sèches ou humides existent dans un champ donné ou si, au contraire, la variation d'humidité est aléatoire.

En effet, l'efficacité de l'irrigation dépend directement de la détermination adéquate du niveau d'humidité du sol pour démarrer l'irrigation. Un départ en conditions trop humides de sol peut entraîner des lessivages à l'excès des nutriments, tandis que des conditions trop sèches occasionnent des pertes de rendement. C'est pourquoi ce projet s'est intéressé à la reconnaissance de la variabilité spatiale des sols à l'intérieur d'un même champ, ce qui permettra au producteur d'ajuster le temps d'irrigation selon les zones ciblées et de réduire ainsi les volumes d'eau appliquée à l'échelle du champ.

1.2 Objectif général

Le projet vise à vérifier l'existence de patrons éventuels d'assèchement ou d'humidité dans un sol agricole en production de pommes de terre irriguées et de relier ces patrons aux rendements et aux mouvements des nitrates dans le profil de sol. Ce projet s'inscrit dans une démarche qui vise une utilisation optimale de l'eau et, conséquemment, des fertilisants par la plante dans un souci de production durable.

1.3 Objectifs spécifiques

- Déterminer si les patrons de variabilité du potentiel hydrique observés correspondent à une distribution aléatoire ou s'ils reflètent une structure spatiale constante, correspondant à des variations de texture du sol ou d'élévation du relief.
- Cartographier les zones d'irrigation dites sèches, moyennes et intermédiaires.
- Vérifier le lien entre les patrons de variabilité du potentiel hydrique aux rendements en pommes de terre.
- Évaluer le nombre minimal de tensiomètres requis pour détecter un stress hydrique avec une précision de 5%.
- Établir un lien de cause à effet entre la variabilité de la teneur en eau d'un champ et la descente par lessivage des nitrates au travers du profil de sol.
- Étudier l'impact possible des zones de variabilité sur la qualité des tubercules incluant le poids spécifique, le contenu en nitrates et les taux de maladies telles la rhizoctonie et la gale.
- Vérifier l'impact économique de la tenu en compte des patrons de variabilité du potentiel hydrique en estimant les pertes de revenus engendré par les baisses de rendements occasionnées par les zones de variabilité en humidité du sol.
- Acquérir les connaissances préalables à la rationalisation adéquate de l'application de l'eau en fonction des zones sèches ou humides existantes dans un champ dans le but d'uniformiser la teneur en eau du champ et, incidemment, de maximiser les rendements en pommes de terre.

1.4 Atteinte des objectifs

La présence d'une structure spatiale constante des patrons d'humidité du sol a permis l'atteinte des objectifs fixés, ce qui aurait été impossible si les patrons de variabilité observés s'étaient plutôt apparentés à une distribution aléatoire du potentiel hydrique. Ces patrons, en périodes dites sèches, humides et à capacité au champ, sont illustrés aux figures 6 à 8.

L'analyse des patrons dans le temps a permis dans un premier temps d'évaluer l'étendue des zones similaires, c'est-à-dire où la tension de l'eau dans le sol est comparable. En conditions plus sèches de sol, les zones qui se ressemblent sont à l'intérieur d'un rayon plus grand qu'en conditions de sol humides, soit respectivement 400 et 200 m (figures 2 et 3). Pour expliquer la présence de ces patrons, la texture du sol, le taux de matière organique et la topographie du terrain ont été mis en relation avec les mesures de tension de l'eau dans le sol effectuées à différentes périodes de la saison. Parmi ces variables, la relation entre la tension de l'eau dans le sol et la proportion de sable et d'argile dans le sol s'est avérée significative, soit un coefficient de corrélation (r) de 0,381 pour le sable ($P = 0,038$) et de 0,344 pour l'argile ($P = 0,063$). Concrètement, en ce qui a trait à la période dite sèche, plus la proportion de sable est élevée et celle en argile faible dans une zone donnée, plus la tension de l'eau y est élevée (sec).

La connaissance de l'étendue de ces zones est utile pour évaluer le nombre de tensiomètres requis pour détecter un stress hydrique avec une précision donnée. Cependant, il est impératif de connaître les rendements en tubercules afin de déterminer si ces derniers sont en relation avec les patrons observés. Les analyses statistiques effectuées révèlent qu'il existe une relation significative entre les rendements vendables et les patrons d'humidité, soit un coefficient de corrélation (r) de 0,373 ($P = 0,042$) pour l'ensemble du champ et ce coefficient atteint un sommet de 0,61 ($P = 0,06$) pour la zone représentée par les sites T1 à T10 (figure 1). À partir de ces résultats, il a été possible d'estimer la perte de rendements liée à une variation de la tension de l'eau dans le sol. En effet, la chute d'une unité de tension (1 kPa), c'est-à-dire des conditions d'humidité de sol qui augmentent, est corrélée avec une diminution de rendement de 3,3 T ha⁻¹. Donc, pour détecter un stress hydrique avec une précision de 5% ou de 10 %, le nombre de tensiomètres à utiliser pour ce champ est respectivement de 4 et 5 unités pour une superficie de 4 ha (tableau 3).

Ce projet s'inscrit également dans une démarche qui vise une utilisation optimale de l'eau et conséquemment, des fertilisants par la plante. C'est pourquoi un des objectifs était de vérifier s'il existait un lien entre les patrons d'humidité et la descente par lessivage des nitrates au travers du profil du sol. De prime abord, les résultats de cette première année d'étude ne font ressortir aucun lien entre la teneur en nitrates mesurée au travers du profile de sol dans les trois strates étudiées et la teneur en eau du sol mesurée par les tensiomètres (tableau 4). En fait, bien qu'aucune tendance générale ne se soit dessinée pour l'ensemble de la saison, pour les périodes de juin et juillet, alors que la croissance des plants est très active, l'emplacement dans le champ semble toutefois avoir été déterminant. En effet, les teneurs en nitrates de la zone utile de sol étaient jusqu'à 1,8 fois plus élevées dans la deuxième moitié du champ, allant du 500^e-1000^e m, que dans la première partie (50^e-500^e m), sans égard au taux d'humidité du sol.

Le suivi en profondeur des teneurs en nitrates au travers du profil de sol en fonction du temps a cependant permis de bien faire ressortir la hausse des teneurs en nitrates en juin et juillet dans la couche de surface (0-30 cm) du sol où la culture puise son azote, suivi quelques semaines plus tard d'une descente marquée des nitrates dans la strate subséquente (30-60 cm) de sol (figure 12). Afin de tenter de comprendre l'absence de lien entre les patrons d'humidité et les teneurs en nitrates, une analyse de corrélation a été effectuée entre certains paramètres de sol et les teneurs en nitrates (tableau 5). Cette analyse a révélé de forts liens entre les teneurs en nitrates et, principalement, les contenus en sables et en argiles du sol.

Dans un même ordre d'idées, vérifier s'il existe une relation entre les zones de variabilité de l'humidité du sol et la qualité des tubercules a permis d'établir un lien entre l'humidité du sol et l'incidence de la gale. La présence de cette relation, en plus de celle existant entre les patrons d'humidité et le rendement vendable, laisse envisager un impact économique positif de la gestion de l'eau selon les patrons existants par l'uniformisation de l'humidité du sol à l'échelle du champ, sujet d'un second projet qui débutera au printemps 2008.

Dans cette prochaine étude, alimentée par les résultats obtenus dans le présent projet, la gestion de l'irrigation sera effectuée selon deux approches, soit l'une globale et la seconde dite locale. En effet, en 2007, le champ à l'étude sera séparé longitudinalement en deux sections afin de comparer ces deux approches en ce qui a trait aux rendements et à la perte des nitrates. Une rampe d'irrigation permettant l'application d'eau à taux variable sera utilisée. C'est pourquoi l'acquisition de connaissances reliées aux caractéristiques physiques du sol était nécessaire. Conséquemment, les courbes de conductivité hydraulique non saturée et de rétention en eau ont été établies à partir des échantillons prélevés aux 30 sites de mesures de tension, identifiés à la figure 1. À partir de ces données, il a été possible d'estimer la réserve facilement utilisable en eau (RFU) moyenne pour ce champ qui est de 6 mm d'eau pour 30 cm de sol. Ainsi, lorsque l'irrigation est déclenchée au point de flétrissement temporaire (PFT), qui est d'environ 7,5 kPa en moyenne pour ce champ, les 30 premiers centimètres de sol sont en mesure de retenir 6 mm d'eau (figure 13). En théorie, tout apport supérieur à 6 mm sera donc lessivé, devenant inaccessible pour les racines. De plus, la teneur moyenne en air de ce sol est de 29 %, indiquant que les diminutions de rendement dans certaines parties du champ ne seraient pas dues à un problème de structure. Les rendements plus faibles seraient plutôt attribuables à un excès d'humidité dû à un apport excédentaire d'eau par la pluie et/ou l'irrigation (tableau 7).

1.5 Étapes et échéances

Activité réalisée	Date prévue	Date réelle	Finalité	Notes
Rencontre avec le producteur	Février 2007	Avril 2007	Explication du projet, entente financière.	
Présentation des étapes de réalisation au producteur	Avril 2007	Avril 2007	Approbation de l'échéancier, information sur les interventions au champ.	<i>L'échéancier convient aux participants</i>
Embauche d'une professionnelle de recherche	Mai 2007	1 ^{er} mai 2007	Agira à titre d'assistante.	
Mise en place du dispositif	Mai 2007	Mai 2007	Répartition des 20 ha du champ en 30 zones de mesures du potentiel hydrique hydriques.	
Installation des 30 tensiomètres	9 mai 2007	29 mai 2007	Suivi en continu de la disponibilité en eau dans les 30 zones de mesures.	<i>Un tensiomètre/zone de mesure</i>
Conduite des essais et collecte des données	Mai – sept. 2007	Mai – oct. 2007	Caractérisation du sol (granulométrie, pH, MO, N-NO ₃ , N-NH ₄ ...), nutrition des plants et calcul du bilan azote sol-plante, détermination de la tension correspondant à une teneur en eau égale à 65% de la RFU du sol.	<i>Prélèvements de sols et de végétaux à des stades cibles de la croissance des plants, prélèvement de cylindres de sols pour l'établissement des courbes</i>
Soumission des demandes d'analyses au laboratoire des sols	Juin – oct. 2007	Juin – oct. 2007	Analyse et traitement des données.	
Evaluation qualité tubercules et rendement	Octobre 2007	Oct.-nov. 2007	Qualité, classement, maladies.	<i>Gale commune et rhizoctonie</i>
Positionnement géo-satellite des tensiomètres	Août 2007	Septembre 2007	Repositionnement au même endroit pour les années subséquentes.	
Prise du relevé topographique	Septembre 2007	Octobre 2007	Connaître la topographie et l'écoulement des eaux et l'élévation du champ.	
Compilation et interprétation données	Déc. 2007	Déc.-mars 2008	Rédaction rapport finale CDAQ.	
Rédaction rapport final CDAQ	Février 2008	Fév.-mars 2008	Remise du rapport au CDAQ.	

Toutes les activités se sont déroulées comme prévues, bien que certaines aient nécessité de légères modifications, notamment en ce qui a trait au type de tarière utilisée. L'acquisition de matériel plus performant et la modification des embouts des tarières ont facilité les prélèvements dans les strates profondes et ont donc permis de maintenir la cédule d'échantillonnages multiples prévue et à la profondeur souhaitée. Les tensiomètres ont également exigé certains ajustements en cours de saison, plus spécifiquement pour régler un problème de transmission des données et de déchargement de tensiomètres, dû à la faible teneur en eau du sol au début du mois d'août.

2 RÉSULTATS ET ANALYSES

2.1 Mise en place de l'expérience

Le projet, d'une durée de un an, s'est déroulé chez un producteur de pommes de terre de Sainte-Catherine-de-la-Jacques-Cartier, en contexte de production commerciale et selon la régie de culture du producteur. La plantation (cv *Russet Burbank*) a été effectuée le 14 mai, à une densité de 27 340 plants ha⁻¹. Le champ, d'une superficie de 20 hectares, a été divisé en 30 zones de mesure. Dans les différentes zones, le pH du sol variait de 5,4 à 6,5 et le taux de matière organique de 2,7 à 5,9. Dans la couche cultivée, la texture oscillait entre le loam sableux et le sable, avec prédominance pour le sable. Dans les strates plus profondes, la texture rapportée était un sable grossier. Les 30 tensiomètres ont été installés le 29 mai, à raison d'un tensiomètre par zone. Enfin, la récolte des 30 parcelles s'est effectuée le 21 septembre.

2.2 Dispositif expérimental

La présente étude ne comprenant aucune assignation de traitement, un échantillonnage systématique du champ a été réalisé afin de caractériser l'ensemble du site dans le but, entre autres, de choisir un dispositif qui sera adéquat pour l'initiation de la seconde phase du projet qui a trait au développement d'une gestion de l'irrigation dite de précision. La technique de détermination des zones d'échantillonnage fait appel aux géostatistiques. Nous avons suivi la méthode proposée par Isaaks et Srivastava (1989), laquelle consiste à placer un nombre minimal de 30 points de mesures à l'intérieur d'une surface donnée, d'en recueillir les données et à procéder à leur analyse par variographie et krigeage.

La position géographique des 30 tensiomètres dans le champ à l'étude est indiquée par les points jaunes à la figure 1, lesquels ont été distribués sur quatre rangées longitudinales situées aux rangs 35, 79, 150 et 157. La première et la dernière rangée comprennent un tensiomètre à tous les 100 m et les deux rangées centrales à tous les 200 m. Les tensiomètres sont nommés selon leur ordre (T1 à T30), longitudinalement selon la distance qui les sépare du début du champ (100 à 1000 m) et aussi selon leur position en largeur (A, B, C et D).

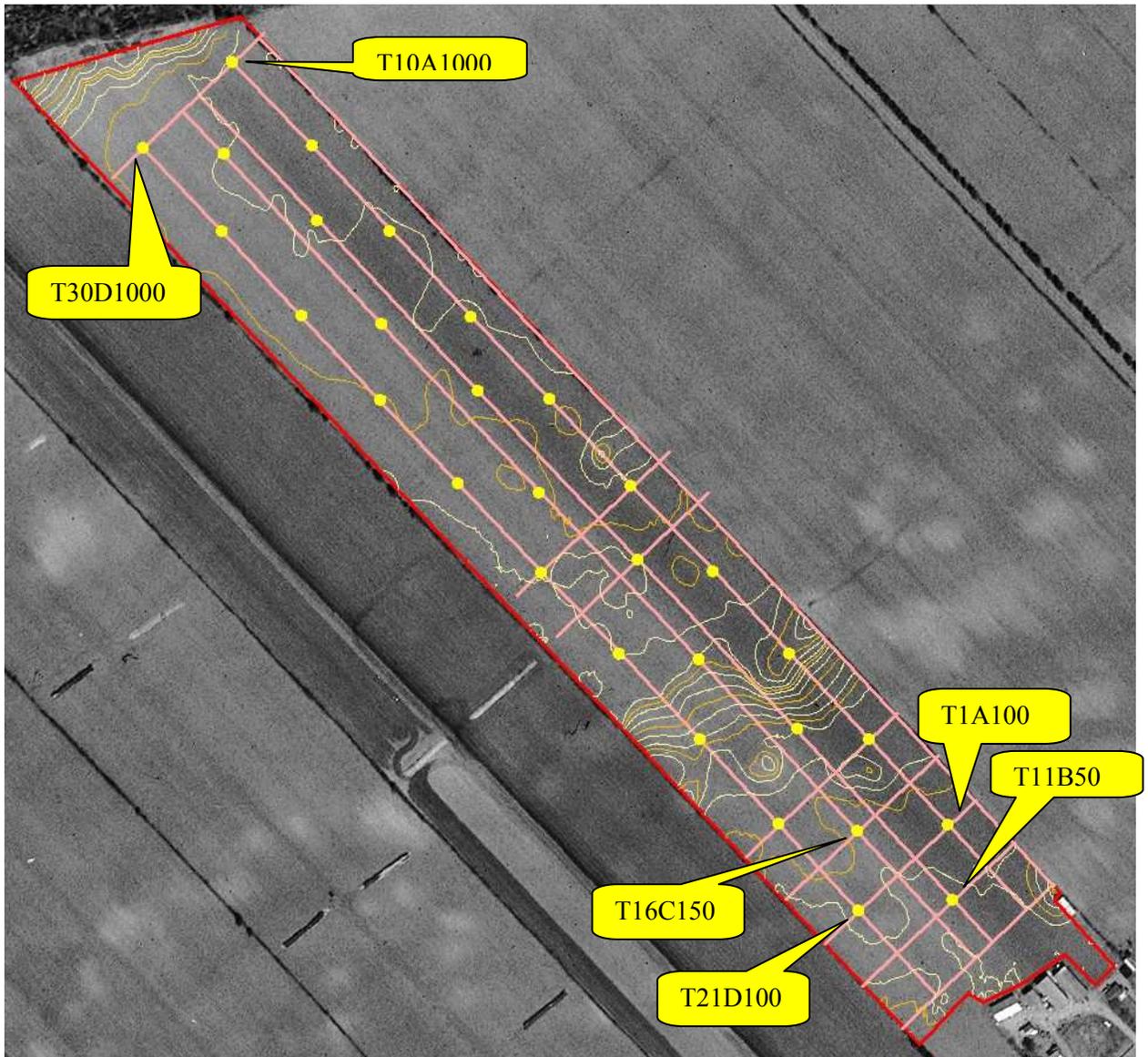


Figure 1. Carte satellite du champ à l'étude où les sites de mesures de la tension de l'eau dans le sol sont indiqués par un point jaune.

2.3 Collecte des données

La granulométrie, le pH, la matière organique, la teneur en éléments minéraux ainsi que les nitrates du sols furent déterminés dans chacune des 30 zones de mesures à partir d'échantillons composites des strates 0-30, 30-60 et 60-90 cm prélevés au printemps. Quatre échantillonnages subséquents (application des fertilisants, période de croissance, récolte et post-récolte au mois d'octobre) ont permis d'effectuer le suivi du mouvement des nitrates à travers le profil de sol en mesurant la teneur en nitrates dans chacune des strates. Les échantillonnages ont été effectués dans un rayon de 2 m autour du tensiomètre au moyen de sonde à tube creux de 2 cm de diamètre, à l'exception de celui en post-récolte qui fut effectué à l'aide d'un échantillonneur de sol hydraulique de marque Giddings. Cinq carottes de sol ont été prélevées sur le rang, à 20 cm des plants, suivant la méthode d'échantillonnage suggérée par le Guide du CRAAQ (2003).

La nutrition des plant a été évaluée par la mesure de du N total (N_{tot}) dosé dans la 4^{ème} feuille mature des plants au stade 50 à 75% floraison. Des plants entiers ont ensuite été prélevés juste avant le défanage afin de déterminer leur matière sèche et leur contenu en N_{tot} . Les prélèvement en N ont alors pu être calculés. Afin de déterminer les rendements totaux et vendables, des sections de 3,5 m de long sur deux rangs de large ont été récoltées manuellement dans chacune des 30 zones de mesure, dans un rayon de ± 2 m autour du tensiomètre juste avant la récolte par le producteur. La qualité des tubercules a été évaluée par la mesure de leur poids spécifique et de leur contenu en nitrates. Les tubercules ont été classés selon leur calibre et ont été examinés afin d'établir l'incidence de gale commune et de rhizoctonie. Enfin, la teneur en N_{tot} des tubercules a été mesurée, permettant le calcul des exportations contribuant à l'obtention du bilan azote sol-plante.

La disponibilité en eau du sol a été mesurée en continu dans chacune des 30 zones de mesure à l'aide de tensiomètres à communication sans fil de type Hortimètre T-80 d'HORTAU installés dans la zone racinaire des plants. Les données furent compilées quotidiennement dans un répertoire informatique relevé sur une base hebdomadaire. La pluviométrie (Pluviomètre HOBO, modèle RG3-M), la température et l'humidité relative de l'air ambiant (HOBO Pro v2, modèle U23-001) ont également été mesurées sans interruption pour la durée du projet.

En cours de saison, un prélèvement de cylindre de sol de 15 cm de hauteur et de 15 cm de diamètre a été effectué pour chacune des 30 zones de mesure afin d'établir les courbes de désorption en eau et de conductivité hydraulique non-saturée par un laboratoire spécialisé dans l'analyse des propriétés physiques du sol à l'Université Laval. Dans le premier cas, les courbes ont servi à mettre en relation les valeurs de tension mesurées dans le sol par les tensiomètres et le contenu en eau du sol pour une tension donnée. Dans le second, elles ont permis de déterminer à quel moment la remontée capillaire de l'eau dans le sol ne permet plus de combler l'eau perdue par évaporation, ce qui a conduit à la valeur de tension pour laquelle l'irrigation devrait être déclenchée dans le sol et à la détermination du stress hydrique de 5%.

Enfin, la répartition spatiale des 30 tensiomètres a été établie par positionnement géo-satellite en fin de saison, avant que les tensiomètres ne soient retirés du champ. Ceci a permis l'élaboration du relevé topographique du champ et a conduit au repérage des zones de mesure pour un repositionnement exact des tensiomètres lors des années suivantes.

2.4 Analyse des données

Les patrons ayant trait à la tension de l'eau dans le sol et les rendements en pommes de terre ont été analysés par variographie et krigeage avec le logiciel d'analyse en géostatistique GS⁺. Les relations entre les variables à l'étude ont aussi été déterminées par analyse de corrélation avec la procédure CORR de SAS. La corrélation de Pearson a été utilisée, sauf dans les cas où la répartition des données ne rencontrait pas la normalité. Dans ce dernier cas, la corrélation de Spearman a été utilisée. Ces deux types de corrélation sont toutes deux englobées dans la procédure CORR de SAS.

2.5 Résultats obtenus pour la saison 2007 selon les objectifs spécifiques

2.5.1 Déterminer si les patrons de variabilité observés correspondent à une distribution aléatoire du potentiel hydrique ou s'ils reflètent une structure spatiale constante, correspondant à des variations de texture du sol ou d'élévation du relief.

2.5.1.1 Distribution aléatoire ou structure spatiale

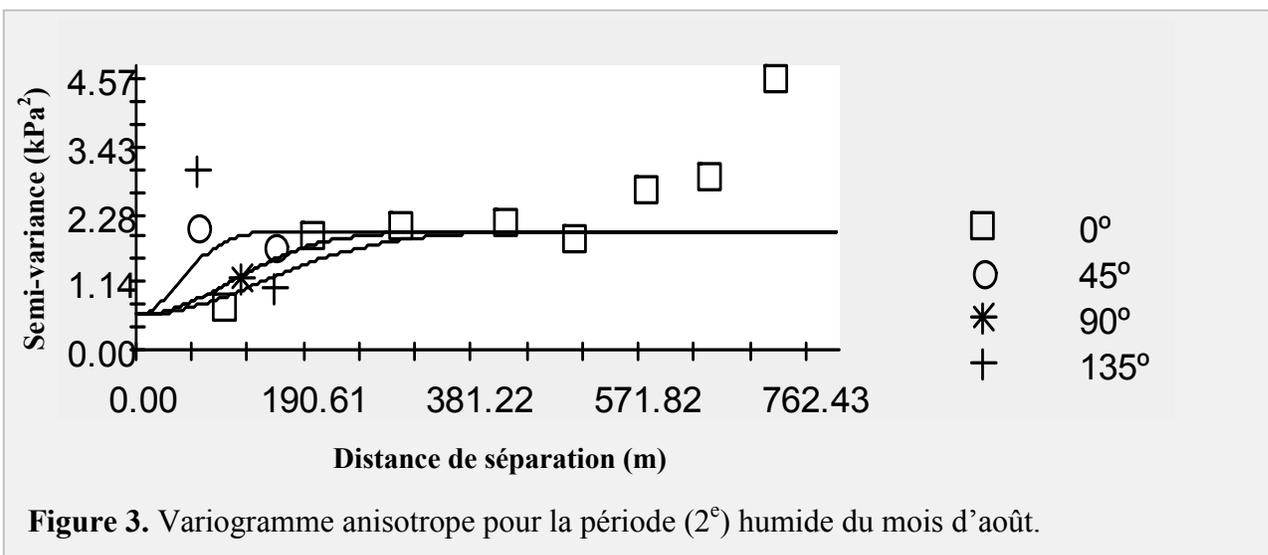
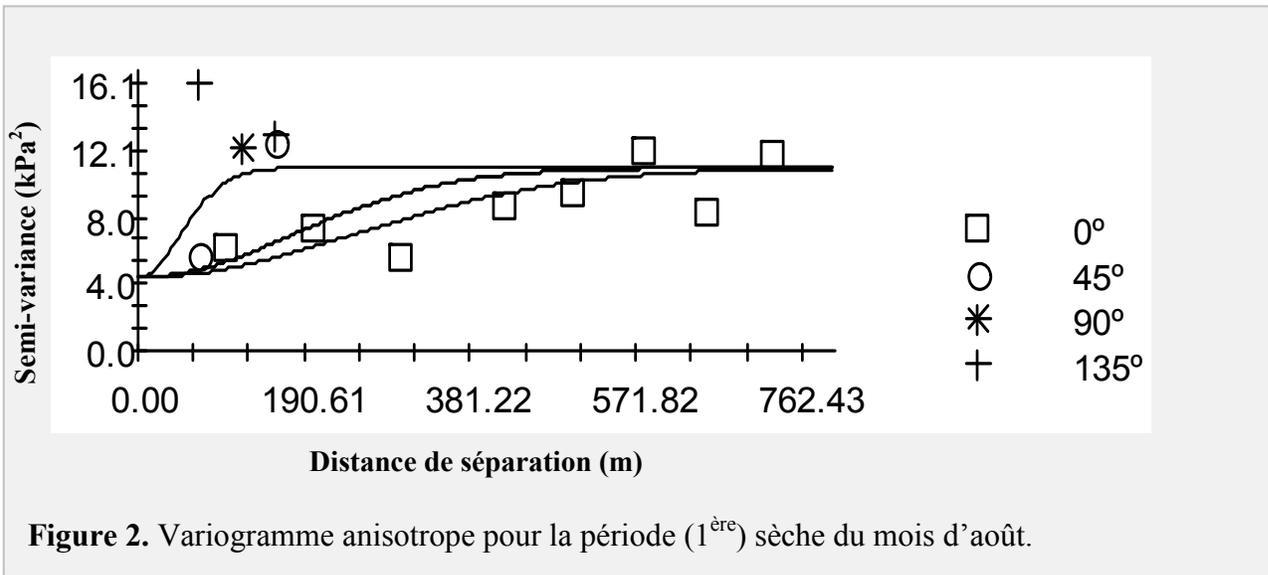
L'analyse des patrons d'humidité observés au champ s'appuie sur des mesures effectuées lors de trois périodes qui se sont distinguées en cours de saison au niveau hydrique. Les deux premières périodes se retrouvent au mois d'août. Cela correspond à une période importante de la production durant laquelle la croissance du tubercule est exponentielle. La première période est classée sèche (entre 7 et 13 kPa de tension) et la seconde, subséquente à une pluie, est classée humide (entre 2 et 8 kPa de tension). La troisième période analysée, située en septembre, correspondait à une situation où la tension de l'eau dans le sol était près de la capacité au champ (6 kPa de tension). Cette diversité de périodes englobe trois situations hydriques importantes que l'on peut observer régulièrement durant une saison de production et qui devraient influencer la gestion de l'irrigation.

Des valeurs moyennes de tension de l'eau dans le sol (potentiel hydrique du sol) ont été calculées pour chacune de ces trois périodes et ces moyennes ont ensuite été analysées individuellement afin de vérifier si elles expriment une structure spatiale constante.

L'analyse de la structure spatiale a comme fondement que si la répartition des zones plus sèches et humides dans l'ensemble du champ n'est pas due au hasard, les mesures de tension de l'eau dans le sol qui ont été effectuées à proximité l'une de l'autre devraient se ressembler davantage que les mesures qui se retrouvent plus éloignées l'une de l'autre. La géostatistique permet de quantifier cette continuité afin de vérifier la présence ou l'absence de structure dans les patrons. Le nombre de points de prise de mesure est donc un facteur important dans la précision et la validité de l'analyse et c'est pourquoi 30 points de lecture au champ ont été utilisés dans cette étude, en fonction de la distance qui les sépare, pour évaluer le comportement spatial de l'humidité dans le sol. La position géographique des 30 tensiomètres dans le champ à l'étude est indiquée par les points jaunes à la figure 1.

La résultante de l'analyse est reproduite graphiquement sous forme de variogramme. Le variogramme renseigne donc sur la présence ou non de structure dans les patrons d'humidité. L'absence de palier (ligne droite) indiquera qu'il n'y a pas de structure, c'est-à-dire que les patrons d'humidité observés au champ sont aléatoires. Le variogramme présenté à la figure 2 a été généré avec les valeurs moyennes de tension de l'eau dans le sol de la première période, dite sèche, comprenant les plus grands écarts de tension mesurés par les tensiomètres entre les différentes zones du champ. L'axe horizontal du

graphique représente la distance en mètres qui sépare deux mesures de tension dans le champ. La présence d'un palier indique clairement que le patron d'humidité prévalant durant cette période est structuré. L'atteinte du plateau vers les 400 m renseigne sur la portée de la valeur mesurée : dans les conditions d'humidité qui prévalaient à cette période, les zones qui se ressemblaient se retrouvaient à l'intérieur d'un rayon de 400 m. L'étude du variogramme de la seconde période montre que ce rayon diminue à 200 m lorsque le sol présente des conditions plus humides suite à une pluie (figure 3). Enfin, à capacité au champ, les zones semblables se retrouvaient à l'intérieur d'un rayon de 150 m (figure 4).



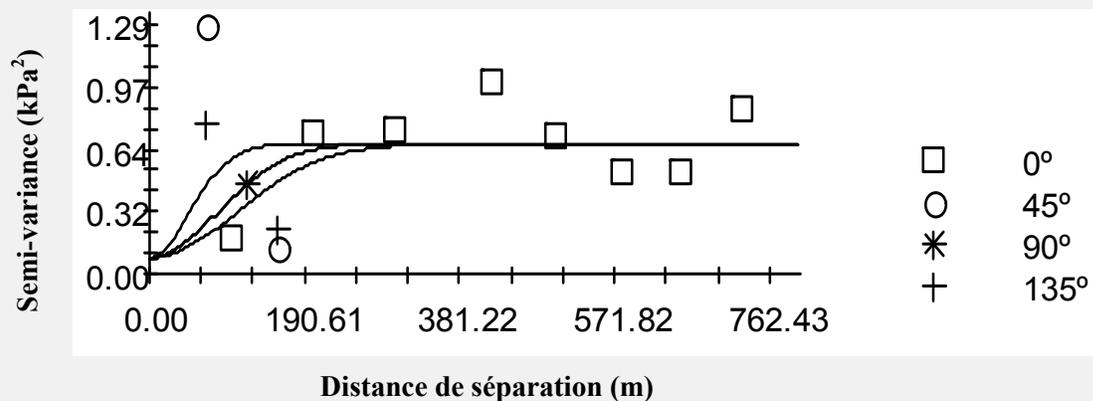


Figure 4. Variogramme anisotrope pour la période (3^e) près de la capacité au champ du mois de septembre.

En plus de renseigner sur la présence d'une structure dans les patrons observés, la connaissance de la valeur du rayon permet d'évaluer, théoriquement, le nombre minimal de tensiomètres requis pour détecter un stress hydrique au seuil de précision voulu pour une superficie donnée. Il s'agit d'une donnée stratégique pour le producteur puisque le suivi de la tensiométrie du sol n'a de valeur que si elle est fiable et représentative. En effet, bien que l'irrigation soit une solution préconisée pour contrer les impacts négatifs des déficits hydriques sur le rendement et la qualité des tubercules, celle-ci doit cependant permettre d'appliquer seulement la quantité d'eau dont la plante a besoin pour éviter les coûts inutiles, incluant ceux des fertilisants, principalement l'azote, et des pesticides pouvant être lessivés et risquant ainsi de contaminer la nappe phréatique.

2.5.1.2 Corrélation entre les patrons d'humidité observés et la matière organique, la texture dans l'horizon 0-30 cm et la topographie du terrain.

Certains facteurs comme le taux de matière organique, la texture du sol et la topographie du terrain pourraient expliquer en partie les patrons observés au champ. Pour ce faire, le coefficient de corrélation de Pearson a été calculé entre ces facteurs et la tension en eau dans le sol pour les périodes 1 et 2, dites sèche et humide, du mois d'août.

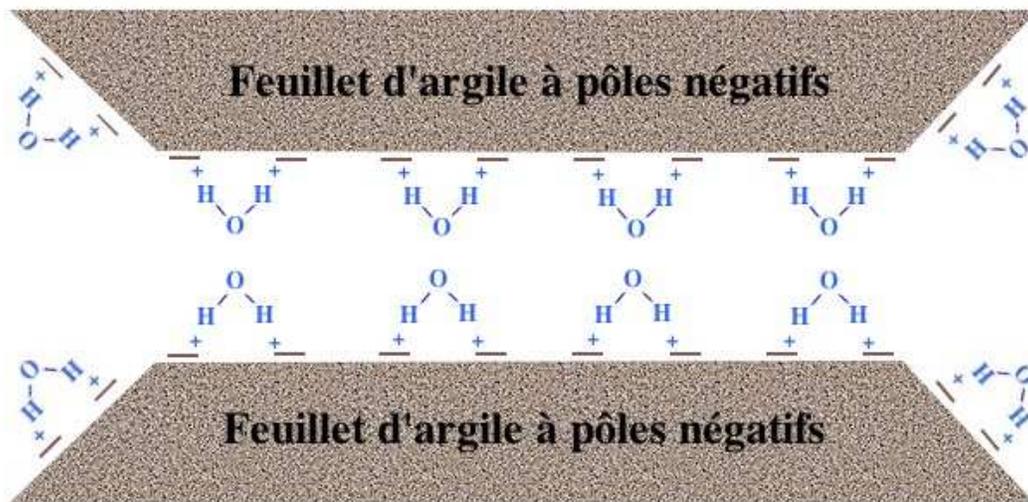
En ce qui concerne la période humide, aucune relation significative n'est ressortie. Cette absence de relation pourrait s'expliquer du fait que la tension de l'eau dans plusieurs zones à ce moment est inférieure à la capacité au champ (6 kPa), donc en situation de saturation qui une fois atteinte ne peut pas être supérieure. Par contre, en période dite sèche, des corrélations apparaissent. Lorsque le sol est drainé, les différents patrons sont davantage visibles car divers facteurs influencent la capacité de rétention en eau des sols et donc la vitesse de drainage qui sera changeante selon les endroits.

La composition des sols est un facteur qui peut influencer cette capacité de rétention. En effet, au fur et à mesure que la tension du sol augmente, les variations dans la proportion de sable et d'argile dans l'horizon 0-30 cm se retrouvent corrélées avec les tensions mesurées et contribuent à expliquer les patrons observés. Ceci concorde avec le fait reconnu que le volume maximal d'eau qu'un sol peut retenir, sa capacité de rétention, dépend essentiellement de sa granulométrie. Ainsi, dans les zones où la proportion de sable ($P = 0,038$) est plus élevée et celle en argile ($P = 0,063$) plus basse, la tension de l'eau dans le sol est plus élevée (tableau 1). Ces résultats concordent avec le fait que l'argile est reconnue pour posséder une capacité de rétention en eau plus élevée que celle du sable, très drainant. Conséquemment, une plus forte présence d'argile permet au sol une plus grande retenue d'eau. Cette propriété de l'argile à retenir fortement l'eau, possédée aussi par l'humus du sol, tient au fait de la finesse des particules, de leur polarité et de leurs grandes surfaces d'échange (figure 5). En effet, bien que sur le terrain la matière organique stabilise les agrégats du sol et maintienne ainsi une bonne macroporosité (perméabilité accrue), au final, elle augmente considérablement la rétention hydrique du sol du fait de ses propriétés de mouillabilité qui modifient la tension superficielle de la solution de sol. À ce titre, une relation négative était aussi attendue entre le contenu en matière organique du sol, reconnue pour son pouvoir absorbant, et la tension hydrique. Il se peut que se manque de lien soit dû au fait que le contenu en matière organique dans le champ était plutôt variable. Il y a aussi absence de lien entre la topographie et la tension. Les dépressions et élévations du sol réparties sur le terrain ne sont donc pas responsables du patron des tensions à l'inverse de ce qui est généralement entendu.

Tableau 1. Coefficient de corrélation (r) entre la tension en eau du sol et le taux de matière organique, la texture du sol et la topographie du champ à l'étude.

Variables testées	Périodes		
		No. 1- Humide	No. 2- Sèche
Matière organique (0-30 cm)	r	-0,01	-0,18
	P	0,955	0,348
% Sable (0-30 cm)	r	-0,01	0,38
	P	0,981	0,038
% Limon (0-30 cm)	r	-0,05	-0,22
	P	0,787	0,253
% Argile (0-30 cm)	r	0,06	-0,34
	P	0,773	0,063
Topographie	r	0,25	0,20
	P	0,186	0,297

Tension superficielle à la surface de l'argile



Source: www.afidol.org

Figure 5. Rétention en eau du sol par l'argile.

2.5.2 Cartographier les zones d'irrigation dites sèches, moyennes et intermédiaires dans un champ donné.

Les patrons d'humidité analysés pour les trois périodes considérées ont été cartographiés et sont présentés aux figures 6, 7 et 8. Pour les deux premières périodes, les zones plus sèches sont surtout localisées dans la deuxième moitié du champ (à partir de 700^e m) et dans la première partie du champ, sur la droite entre le 1^{er} et le 95^e m de largeur. Les zones humides sont plutôt présentes entre le 95 et 155^e m en largeur (à partir du 400^e m) pour atteindre ensuite la première moitié en largeur, et ce, jusqu'au 700^e m. Pour la dernière période, soit celle illustrée à la figure 8, une zone plus sèche, supérieure à la valeur correspondant à la capacité au champ (6 kPa), s'observe comme pour les deux premières périodes, dans la 2^e moitié du champ. Un noyau plus humide est présent à partir de 350 m jusqu'à 550 m. Pour le reste, les valeurs de tension de l'eau dans le sol se rapprochent de celles pour la capacité au champ.

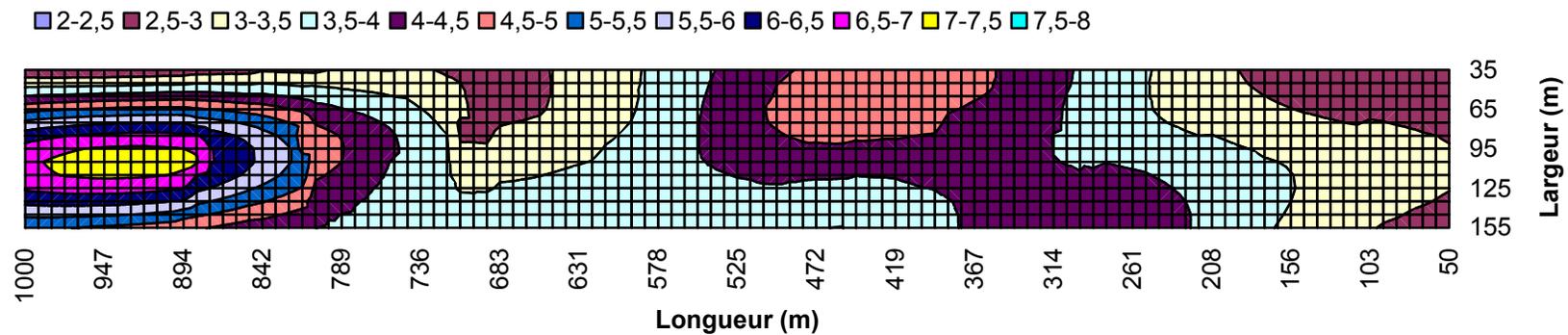


Figure 6. Cartographie des zones d'humidité pour la période dite humide (2 à 8 kPa).

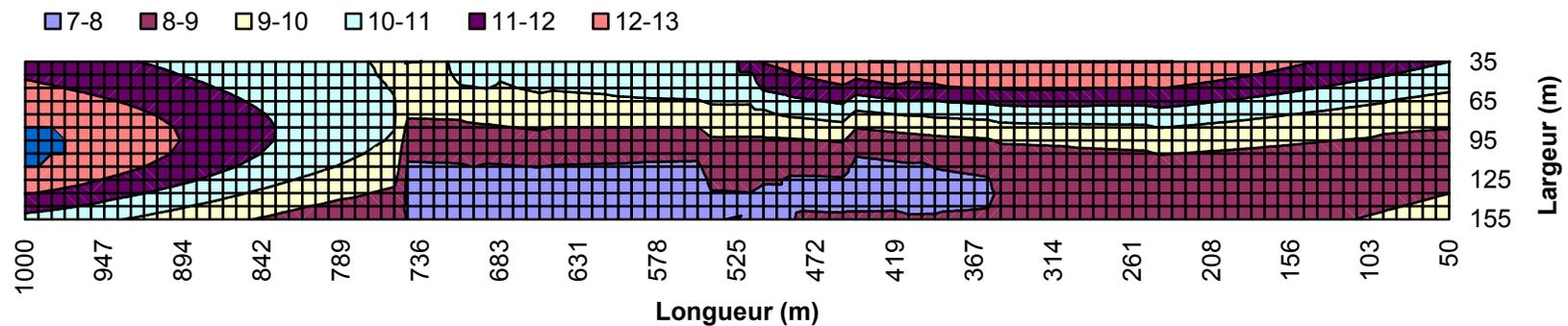


Figure 7. Cartographie des zones d'humidité pour la période dite sèche (7 à 13 kPa).

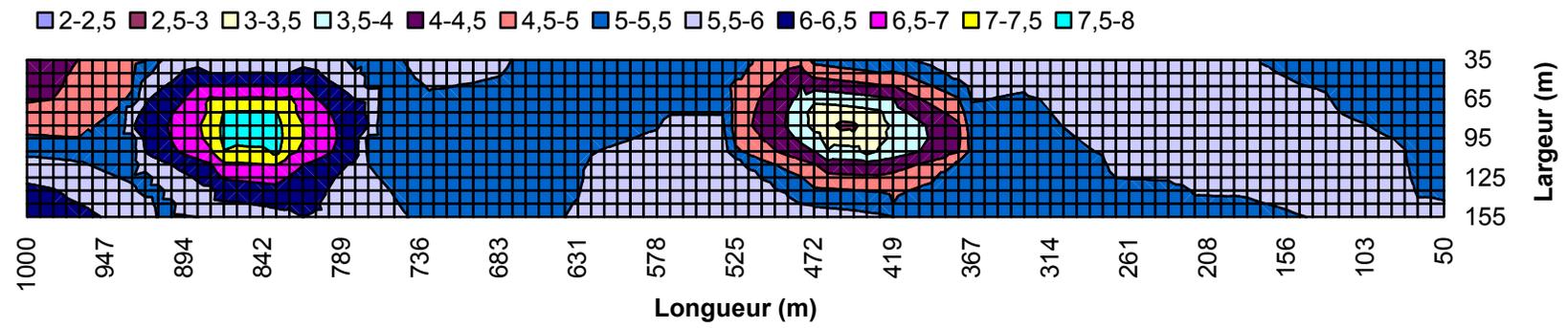


Figure 8. Cartographie des zones d'humidité pour la période près de la capacité au champ en septembre (2 à 8 kPa).

2.5.3 Relier les patrons d'humidité observés aux rendements en pommes de terre.

Les coefficients de corrélation de Pearson (r) entre les rendements et la tension de l'eau du sol sont présentés au tableau 2. Il existe une relation significative ($P = 0,042$) entre la tension enregistrée aux 30 sites de mesures durant la 2^e période, humide, et le rendement vendable mesuré aux mêmes points ($r = 0,373$). Autrement dit, dans les conditions de l'étude, la tension de l'eau dans le sol est un facteur qui explique partiellement la variation de rendement observée à l'échelle du champ.

Tableau 2. Coefficient de corrélation (r) entre les rendements et la tension de l'eau dans le sol.

Variables testées		Périodes	
		No. 1 - Sèche	No 2. - Humide
Rendements total	r	-0,009	0,348
	P	0,961	0,059
Rendement vendable	r	0,011	0,373
	P	0,953	0,042

La relation entre le rendement et la tension de l'eau dans le sol est encore plus forte pour certaines zones du champ. En effet, pour les sites T1 à T10 (figure 1), le coefficient de corrélation est plus élevé (60% ou $r^2 = 0,357$) ($P = 0,06$). Cette relation est illustrée à la figure 9. Elle renseigne à l'effet que les rendements mesurés dans les zones plus humides (qui tendent vers 0 kPa) sont moindres que ceux obtenus en zones plus sèches (qui tendent vers 6 kPa). Elle permet aussi d'estimer la perte de rendement qui résulte d'une diminution de la tension de l'eau dans le sol (hausse de l'humidité). En effet, pour la période de mesure considérée, à l'intérieur des zones de tension de l'eau dans le sol correspondant à 5 kPa un rendement vendable d'environ 34 T ha⁻¹ a été mesuré, tandis que pour les zones à 2 kPa, le rendement baissait à 24 T ha⁻¹).

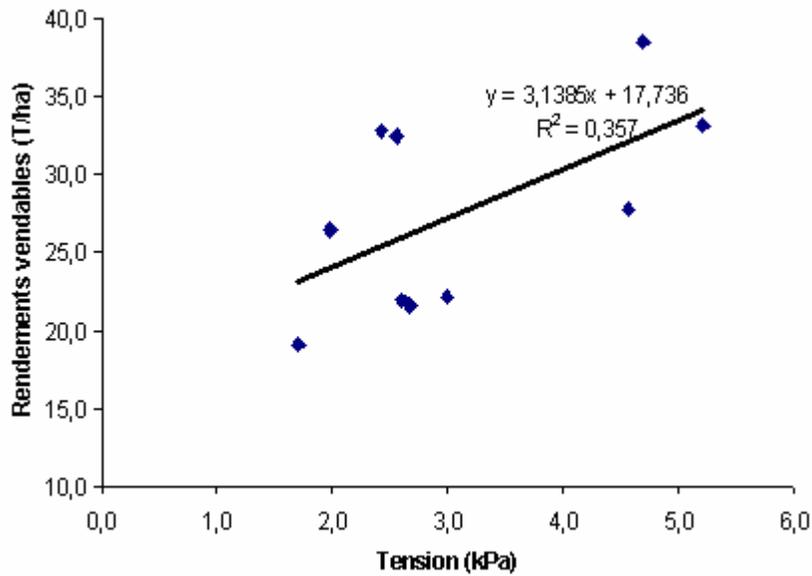


Figure 9. Relation entre la tension de l'eau dans le sol et le rendement vendable mesuré pour les sites de mesures T1 à T10.

La cartographie du rendement vendable et des patrons d'humidité observés pour la 2^e période, dite humide, est présentée aux figures 10 et 11. La zone encadrée en rouge à la figure 10 correspond à une zone de rendement moindre, soit de 22 à 28 T ha⁻¹, soit une perte pouvant atteindre 8 tonnes de rendement par rapport au rendement maximal mesuré. Cette même zone, à la figure 8, correspond à une zone humide (2,5 à 3,5 kPa). La même correspondance peut être observée entre les zones de rendements plus élevés et les zones de sol plus sèches, encadrées en vert.

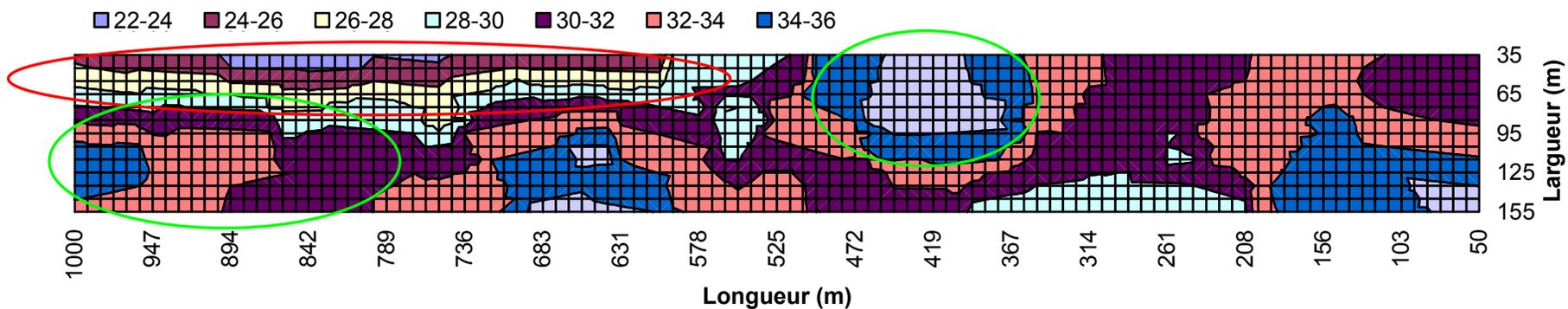


Figure 10. Cartographie des diverses zones de rendement vendable (T ha⁻¹).

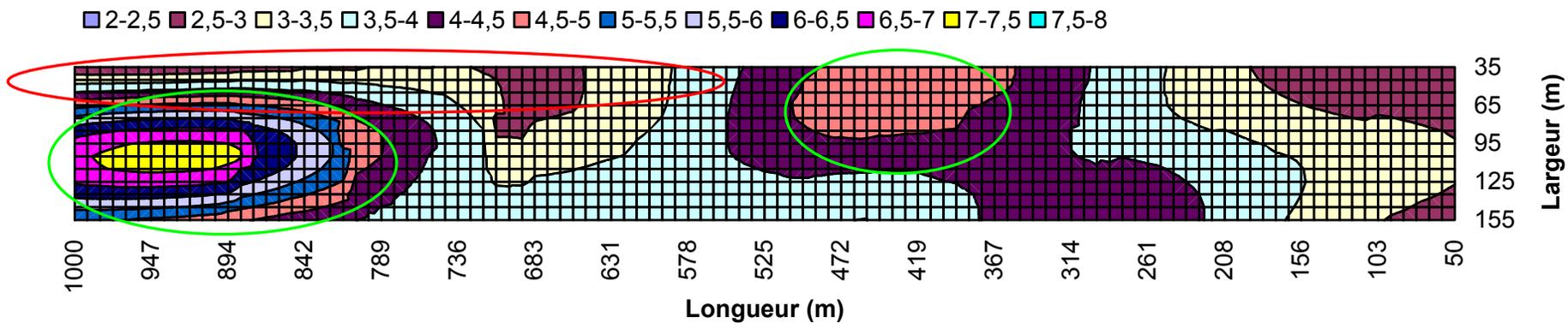


Figure 11. Cartographie des zones de tension de l'eau dans le sol pour la période dite humide (kPa).

2.5.4 Évaluer le nombre minimal de tensiomètres requis pour détecter un stress hydrique avec une précision de 5%.

Pour répondre à cet objectif, il faut utiliser la relation entre la tension de l'eau dans le sol pour la 2^e période, dite humide, et les rendements vendables mesurés en ces points, rapportée dans la section précédente.

Sachant qu'une chute de tension d'une unité occasionne une diminution de rendement d'environ 3,3 T ha⁻¹, pour déceler une baisse de rendement de 20 % du rendement maximal mesuré dans la saison (34 T ha⁻¹), soit un déficit de 7 tonnes, il faut détecter une chute de tension de 2 kPa. À partir de cette information, il est possible d'estimer le nombre de tensiomètres requis pour mesurer cette différence de tension, selon un niveau de confiance donnée, avec la loi statistique de « t » (équation 1).

Équation 1. Loi de « t »

$$T = \frac{\text{Différence recherchée entre 2 zones}}{(\text{Écart-type} * (\text{Nombre de tensiomètres})^{1/2})}$$

Cette équation permet de calculer les valeurs de T qui seront utilisées pour déterminer le nombre de tensiomètres pour atteindre le niveau de précision voulue (tableau 3). La valeur de T calculée doit être supérieure à la valeur de T tabulée dans la Table de la valeur de T de Student – Bilatérale pour qu'elle soit déclarée significative au niveau de confiance voulue. Conséquemment, avec 4 tensiomètres, il est théoriquement possible de détecter un stress hydrique de 2 kPa ou une perte de rendements de 7 tonnes avec un niveau de confiance de 10 % (9 fois sur 10). Pour augmenter ce niveau à 5 %, i.e. 9,5 fois sur 10, il faudrait 5 tensiomètres. La superficie gérable par ce nombre de tensiomètres serait, dans le cas de cette période humide, de 4 ha, soit une portée de 250 m mesurée par le variogramme (figure 3) par la largeur du champ, soit 155 m.

Tableau 3. Détermination du nombre de tensiomètres nécessaires pour obtenir le niveau de confiance souhaitée.

Nombre de tensiomètres	Valeur de T	Niveau de confiance		
		5 %	10 %	
2	2,000	12,70	6,31	Non significatif
3	2,449	4,30	2,92	Non significatif
4	2,828	3,18	2,35	Significatif (10%)
5	3,162	2,77	2,13	Significatif (5 et 10%)

2.5.5 Établir un lien de cause à effet entre la variabilité de la teneur en eau d'un champ et la descente des nitrates au travers du profil de sol par lessivage.

Au cours de la saison de croissance, les teneurs en nitrates mesurées au travers du profil de sol dans les trois strates étudiées n'ont en aucun temps été liées à la teneur en eau du sol (tableau 4). La présentation graphique du contenu en nitrates au travers des diverses strates du profil du sol en relation avec la cartographie des teneurs en eau illustre bien cette absence de lien (figure 12). Les graphiques ont été réalisés par le regroupement des données de nitrates selon les classes de teneurs en eau utilisées pour dresser la carte. Quatre courbes ont ainsi été obtenues, une par zones sèches et humides, de la première (zones situées entre 50-500 m) et deuxième moitié (zones situées entre 500-1000 m) du champ. On peut alors observer à la figure 12 que les zones contenant davantage de nitrates ne correspondent pas aux zones décrites précédemment comme sèches ou humides. En fait, bien qu'aucune tendance générale ne se dessine pour l'ensemble des cinq périodes, en juin et juillet, alors que la croissance des plants est très active, c'est plutôt l'emplacement dans le champ qui semble déterminant (figure 12). Durant la période du 13 juin, les teneurs en nitrates dans la strate 0-30 cm des zones situées dans la 2^e moitié du champ présentaient en effet des valeurs entre 44 et 59 mg kg⁻¹ b.s., tandis que celles des zones situées dans les 500 premiers mètres oscillaient entre 28 et 35 mg kg⁻¹ b.s. La strate utile de sol des zones situées dans la 2^e moitié du champ contenait ainsi en moyenne 1,6 fois plus de nitrates que celle des zones situées dans la 1^{ère} moitié du champ. De même, au cours de la période du 17 juillet, les teneurs en nitrates de la strate utile de sol situées dans la 2^e moitié du champ atteignaient entre 68 et 78 mg kg⁻¹ b.s., tandis que celles des zones situées dans les 500 premiers mètres étaient en moyenne 1,8 fois inférieures, valant entre 37 et 43 mg kg⁻¹ b.s. Plus en profondeur, une telle tendance n'est cependant pas présente.

Tableau 4. Coefficient de corrélation (r) entre le contenu en nitrates au travers du profil de sol et la teneur en eau du sol au cours des cinq périodes étudiées.

Variables testées		Teneurs en eau				
		15 mai	13 juin	17 juillet	20 septembre	24 octobre
Nitrates (0-30 cm)	r	nd	-0.14	-0.28	0.13	0.03
	P	nd	0.5473	0.1521	0.5034	0.8599
Nitrates (30-60 cm)	r	nd	-0.04	-0.11	-0.11	0.11
	P	nd	0.8828	0.5895	0.5615	0.5541
Nitrates (60-90 cm)	r	nd	0.18	0.02	0.03	0.18
	P	nd	0.4418	0.9121	0.8739	0.3355

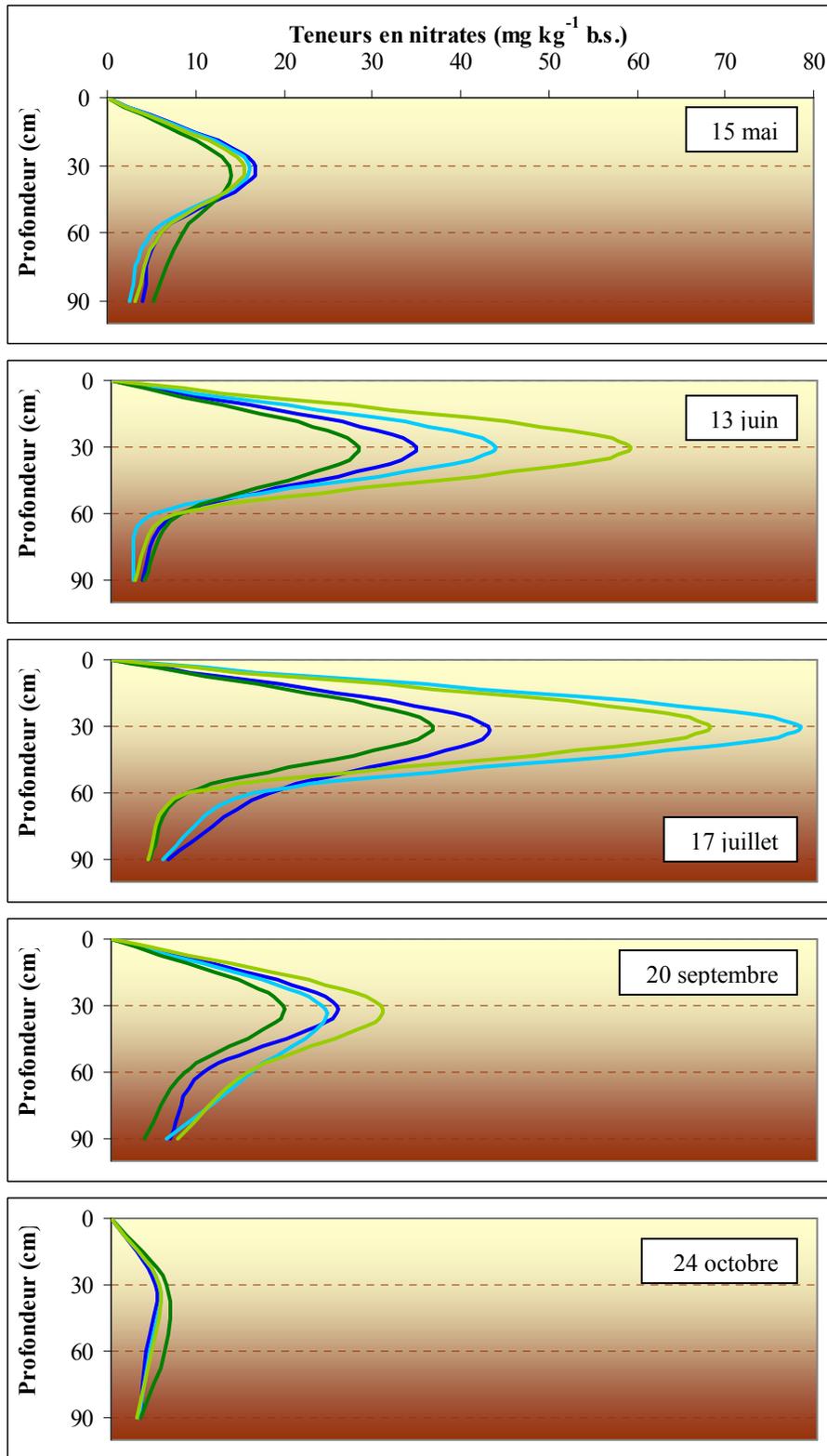


Figure 12. Teneurs en nitrates au travers du profil de sol en cours de saison.

Par ailleurs, l'observation des graphiques de la figure 12 permet aussi de bien visualiser la répartition et l'évolution des nitrates dans le profil de sol. On y discerne bien que la hausse des teneurs en nitrates s'est faite principalement dans la strate utile (0-30 cm) au cours de l'été, en juin et juillet, alors que les teneurs en nitrates présentaient des valeurs de 2,0-3,8 fois et 2,5-4,9 fois supérieures, respectivement, à celles mesurées en mai. Cette hausse dans la strate 0-30 cm a été suivie d'une augmentation conséquente, allant jusqu'à 3,2 fois, décalée dans le temps, dans la strate suivante (30-60 cm) au cours des mois de juillet et septembre, probablement due à la descente d'une partie des nitrates accumulées précédemment. Finalement, on peut y observer le déclin des valeurs jusqu'à devenir similaires dans tout le profil suivant les grandes pluies d'automne à la fin d'octobre.

Afin de tenter de comprendre l'absence de lien entre les patrons d'humidité et les teneurs en nitrates, une analyse de corrélation a été effectuée entre certains paramètres de sol et les teneurs en nitrates (tableau 5). De forts liens se sont alors révélés, principalement entre les teneurs en nitrates et les contenus en sables et en argiles du sol. En présence d'une plus forte proportion d'argile, les teneurs en nitrates étaient plus élevées. Réciproquement, les valeurs sont plus basses lorsque le sol contenait davantage de sables. Ceci suggère que les nitrates ont été plus mobiles et se sont perdus par lessivage dans les endroits plus sableux du champ. Ceci concorde avec la littérature au sujet de la descente des nitrates. Les nitrates, non fixés par le sol, se déplacent avec le mouvement de l'eau. En présence de plus d'argile, reconnue pour posséder une capacité de rétention en eau plus élevée que celle du sable, l'eau demeure plus longtemps et les nitrates ont un temps de résidence plus long et peuvent donc, dans une certaine mesure, s'accumuler. Par contre, dans les sables, beaucoup plus drainant, les nitrates sont entraînés avec le mouvement de l'eau et sont perdus au travers du profil du sol. Les deux années du projet subséquent, qui se déroulera de 2008 à 2010, seront nécessaires pour tenter de comprendre pourquoi la teneur en eau du sol et les contenus en nitrates, tout deux influencés par la texture du sol, ne présentent pas de concordance dans leur patrons de distribution.

Tableau 5. Corrélation entre le contenu en nitrates au travers du profil de sol et certains paramètres de sol en cours de saison.

Variables testées		Teneurs en nitrates														
		15 mai			13 juin			17 juillet			20 septembre			24 octobre		
		0-30 [†]	30-60	60-90	0-30	30-60	60-90	0-30	30-60	60-90	0-30	30-60	60-90	0-30	30-60	60-90
MO [‡]	r	0.45	0.31	0.31	0.23	-0.17	-0.38	0.13	-0.03	-0.21	0.12	0.07	0.12	0.11	-0.09	-0.28
(0-30 cm)	P	0.0125	0.0902	0.0987	0.2204	0.3665	0.0364	0.4788	0.8699	0.2721	0.5232	0.7228	0.5364	0.5768	0.6283	0.1297
% Sable	r	0.03	0.19	0.10	-0.12	0.06	0.32	-0.46	-0.30	-0.10	-0.28	-0.41	-0.21	-0.19	-0.07	-0.04
(0-30 cm)	P	0.8567	0.3144	0.5891	0.4943	0.7491	0.0850	0.0098	0.1103	0.5966	0.1331	0.0231	0.2572	0.3255	0.7251	0.8376
% Limon	r	-0.15	-0.24	-0.22	-0.18	-0.36	-0.46	0.11	-0.09	-0.26	-0.18	-0.04	-0.24	-0.21	-0.14	0.03
(0-30 cm)	P	0.4307	0.2045	0.2373	0.3304	0.0479	0.0115	0.5623	0.6227	0.1712	0.3459	0.8520	0.2014	0.2652	0.4597	0.8819
% Argile	r	0.19	-0.06	0.06	0.36	0.25	-0.03	0.48	0.55	0.37	0.59	0.68	0.55	0.46	0.23	0.03
(0-30 cm)	P	0.3209	0.7412	0.7412	0.0515	0.1746	0.8705	0.0073	0.0016	0.0463	0.0006	<.0001	0.0016	0.0099	0.2261	0.8774
MO	r		0.75	0.46		-0.06	-0.15		-0.18	-0.23		-0.22	-0.11		0.08	-0.21
(30-60 cm)	P		<.0001	0.0106		0.7417	0.4247		0.3501	0.2172		0.2432	0.5497		0.6694	0.2681
% Sable	r		-0.46	-0.25		-0.16	-0.001		-0.18	-0.18		0.02	-0.09		-0.48	0.04
(30-60 cm)	P		0.0108	0.1884		0.3932	0.9945		0.3387	0.3393		0.9112	0.6465		0.0076	0.8446
% Limon	r		0.43	0.29		-0.01	0.07		0.11	0.02		0.02	0.08		0.27	0.15
(30-60 cm)	P		0.0190	0.1192		0.9485	0.6982		0.5720	0.9072		0.9167	0.6878		0.1469	0.4296
% Argile	r		0.19	0.04		0.25	-0.07		0.30	0.34		0.08	0.16		0.43	-0.21
(30-60 cm)	P		0.3035	0.8456		0.1751	0.6964		0.1017	0.0652		0.6808	0.4091		0.0168	0.2641
MO	r			0.66			0.22			-0.12			-0.01			0.37
(60-90 cm)	P			<.0001			0.2393			0.5160			0.9655			0.0453
% Sable	r			-0.44			-0.22			-0.13			-0.48			-0.30
(60-90 cm)	P			0.0152			0.2523			0.5086			0.0072			0.1046
% Limon	r			0.19			0.12			-0.16			-0.04			-0.03
(60-90 cm)	P			0.3267			0.5296			0.4418			0.8535			0.8871
% Argile	r			0.22			0.14			0.19			0.48			0.32
(60-90 cm)	P			0.2498			0.4761			0.2906			0.0069			0.0800

[†] Strates de sol en centimètres.

[‡] Matière organique.

2.5.6 Étudier l'impact possible des zones de variabilité sur la qualité des tubercules incluant le poids spécifique, le contenu en nitrates et les taux de maladies fongiques, telles la rhizoctonie et la gale.

Différents paramètres permettant d'évaluer la qualité des tubercules ont été mesurés et ces derniers ont été mis en relation avec les patrons d'humidité du sol observés pour deux périodes différentes, soit une première période, dite sèche, et une seconde, dite humide. En ce qui a trait au poids spécifique et au contenu en nitrates des tubercules, les coefficients de corrélation (r) calculés démontrent l'absence de relation significative entre ces variables (tableau 6).

Une relation significative ($P = 0,021$) entre la tension de l'eau du sol en période humide et l'indice de gale a cependant été identifiée et cette dernière indique que l'indice de gale est plus élevé pour les tubercules qui ont été récoltés dans les zones plus humides. L'évaluation de l'indice de gale ne discriminait pas entre la gale commune ou poudreuse, difficile à évaluer à l'œil nu. Cette relation semble indiquer la présence de la gale poudreuse, car cette dernière est favorisée par l'humidité du sol.

À propos de la rhizoctonie, il est reconnu que l'incidence de cette dernière est favorisée par des conditions de sol humide. Toutefois, la relation significative ($P = 0,0001$) entre l'indice de rhizoctonie et la tension de l'eau dans le sol en période sèche indique le contraire. En effet, selon cette relation, des conditions de sol sec seraient favorables à la sévérité de cette maladie.

Tableau 6. Coefficient de corrélation (r) entre la tension en eau du sol et la qualité des tubercules.

Variables testées		Périodes	
		No. 1 – Sèche	No.2 – Humide
Poids spécifique	r	-0,28	0,11
	P	0,129	0,574
Contenu en nitrates	r	-0,20	-0,15
	P	0,290	0,432
Indice de gale	r	-0,10	-0,42
	P	0,605	0,021
Indice de rhizoctonie	r	0,75	0,19
	P	0,0001	0,314

2.5.7 Vérifier l'impact économique d'une telle pratique en estimant les pertes de revenus engendrées par les baisses de rendements occasionnées par les zones de variabilité en humidité du sol.

Une relation entre les zones plus humides et un rendement vendable plus faible a été démontrée au tableau 2 ($r = 0,37$; $P = 0,042$). De plus, un indice de gale plus élevé a été mesuré sur les tubercules récoltés dans ces zones ($r = -0,42$, $P = 0,021$). Des rendements vendables plus faibles et la diminution de la qualité des tubercules attribuables aux zones plus humides sont des pertes économiques dans la mesure où des rendements et une qualité supérieure auraient pu être obtenus si les conditions d'humidité de sol avaient été plus uniformes. De plus, comme démontré précédemment, cette corrélation était plus forte dans certaines zones (T1 à T10) du champ où elle atteignait $r = 0,60$ ($P = 0,06$). Dans cette zone, la chute d'une unité de tension (1 kPa) occasionnait donc des pertes de rendement d'environ $3,3 \text{ T ha}^{-1}$ (voir 2.5.4) avec des pertes économiques conséquentes. Il n'est cependant pas possible pour l'instant de compléter plus avant l'analyse économique et de déterminer un montant exact de pertes. L'impact économique qui découlerait de l'uniformisation de la teneur en eau du sol à l'échelle du champ est, entre autres, tributaire des gains en rendements vendables et possiblement en qualité des tubercules. Cet aspect sera vérifié dans un second projet qui débutera au printemps 2008.

2.5.8 Acquérir les connaissances préalables à la rationalisation adéquate de l'application de l'eau en fonction des zones sèches ou humides existantes dans un champ donné dans le but d'uniformiser la teneur en eau du champ et, incidemment, les rendements en pommes de terre.

Les analyses effectuées sur les 30 échantillons de sol prélevés durant la saison ont permis de déterminer certaines propriétés hydrauliques importantes du sol, telles les courbes de rétention et de conductivité hydraulique non saturée et saturée, ainsi que certains paramètres physiques, telles la masse volumique apparente et réelle et la porosité totale (tableau 7). Ces paramètres, indispensables au développement d'une méthode d'irrigation de précision et pour l'évaluation de l'uniformité du sol dans un champ, seront discutés et les informations qu'ils apportent interprétées.

Tableau 7. Propriétés physiques des échantillons de sol prélevés en 30 points dans le champ.

No du champ	ρ_a	ρ_s	θ_s	C_c	θ_c	θ_a	$\theta_{1\text{mm}}$	RFU	K_s
	g/cm ³	g/cm ³	cm ³ /cm ³	cm	cm ³ /cm ³	cm/s			
T1A100	1,15	2,55	0,55	60	0,33	0,22	0,30	0,03	0,011227
T2A200	1,11	2,55	0,56	60	0,37	0,19	0,34	0,03	0,011104
T3A300	1,10	2,55	0,57	60	0,34	0,23	0,31	0,03	0,005229
T4A400	1,04	2,54	0,59	60	0,39	0,20	0,37	0,02	0,007964
T5A500	1,12	2,55	0,56	60	0,31	0,25	0,29	0,02	0,002410
T6A600	1,41	2,55	0,45	60	0,11	0,34	0,10	0,01	0,006254
T7A700	1,15	2,55	0,55	60	0,35	0,20	0,32	0,03	0,008970
T8A800	1,23	2,55	0,52	60	0,32	0,20	0,30	0,02	0,007093
T9A900	1,16	2,55	0,54	60	0,32	0,22	0,29	0,03	0,003039
T10A1000	1,18	2,57	0,54	60	0,33	0,21	0,32	0,01	0,003828
T11B250	1,01	2,58	0,61	60	0,33	0,28	0,29	0,04	0,006866
T12B250	1,12	2,58	0,57	60	0,34	0,23	0,31	0,03	0,008688
T13B450	1,10	2,58	0,57	60	0,38	0,19	0,35	0,03	0,002313
T14B650	1,10	2,58	0,57	60	0,34	0,23	0,33	0,01	*
T15B850	1,21	2,58	0,53	60	0,33	0,20	0,32	0,01	0,003458
T16C150	1,30	2,58	0,50	60	0,37	0,13	0,32	0,05	0,002523
T17C350	1,44	2,58	0,44	60	0,10	0,34	0,09	0,01	0,006468
T18C550	1,03	2,58	0,60	60	0,38	0,22	0,37	0,01	0,015112
T19C750	1,44	2,58	0,44	60	0,11	0,33	0,11	0,00	0,008388
T20C950	1,16	2,57	0,55	60	0,31	0,24	0,30	0,01	0,003643
T21D100	1,28	2,54	0,50	60	0,08	0,42	0,08	0,00	0,011823
T22D200	1,40	2,54	0,45	60	0,39	0,06	0,38	0,01	0,006946
T23D300	1,44	2,54	0,43	60	0,06	0,37	0,05	0,01	0,009256
T24D400	1,39	2,54	0,45	60	0,15	0,30	0,12	0,03	0,006975
T25D500	1,12	2,55	0,56	60	0,37	0,19	0,34	0,03	0,010155
T26D600	1,38	2,54	0,46	60	0,09	0,37	0,09	0,00	0,011032
T27D700	1,06	2,54	0,58	60	0,36	0,22	0,33	0,03	0,010053
T28D800	1,11	2,54	0,57	60	0,35	0,22	0,34	0,01	0,003886
T29D900	1,16	2,54	0,54	60	0,34	0,20	0,32	0,02	0,002086
T30D1000	1,07	2,54	0,58	60	0,39	0,19	0,35	0,04	0,007733
Moyenne	1,20	2,56	0,53		0,29	0,24	0,27	0,02	0,01

* Valeur non disponible

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

2.5.8.1 Courbes 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**. Étant donné que les champs ne sont généralement pas saturés en eau, les informations fournies par cette courbe permettent de mieux comprendre le mouvement de l'eau dans le sol, car la vitesse à laquelle elle se déplace varie selon la tension qu'exerce le sol.

Les besoins en eau des plantes varient en fonction du stade de croissance et de la période de la journée. Ainsi, plus la plante grossit, plus ses besoins en eau augmentent. Des valeurs minimales et maximales de demande d'évapotranspiration rapportées au champ ont été déterminées sous les conditions du Québec (Gallichand et al. 1990). On considère que la plante a besoin, au début de sa croissance de 1 mm d'eau par jour pour répondre à ses besoins entre 9h00 et 15h00. À partir de cette valeur, il est possible de calculer la conductivité hydraulique non saturée minimale pour répondre à ce besoin.

$$\begin{aligned} 1 \text{ mm} &= 4,6\text{E-}06 \text{ cm/s} \\ 6 \text{ h} \times 3600 \text{ s/h} \times 10 \text{ mm/cm} \end{aligned}$$

Lorsque la plante grossit, ses besoins en eau augmentent à 6 mm. On calcule donc la conductivité hydraulique non saturée minimale pour fournir 6 mm d'eau à la plante pendant 6 heures.

$$\begin{aligned} 6 \text{ mm} &= 2,8\text{E-}05 \text{ cm/s} \\ 6 \text{ h} \times 3600 \text{ s/h} \times 10 \text{ mm/cm} \end{aligned}$$

Ce calcul est approximatif, car il postule un gradient hydraulique nul, ce qui est vrai au début de la transpiration seulement. Ces deux valeurs de conductivité hydraulique non saturée permettent de déterminer le potentiel matriciel minimal approximatif pour répondre aux besoins des plantes en fonction du stade de croissance puisque la teneur en eau à ces tensions correspond au point de flétrissement temporaire des plants. À ces tensions, les plants sont flétris, mais pas de façon permanente. Il faut donc maintenir le potentiel du sol au-dessus de cette valeur afin de maintenir la turgescence des plants et assurer ainsi un taux d'évapotranspiration maximal garant d'une activité photosynthétique optimale. Cette valeur détermine donc à quel potentiel matriciel il faut débiter l'irrigation.

Par ailleurs, la **capacité au champ** correspond au potentiel matriciel d'un sol ressuyé par gravité. Au-delà de cette valeur, la composante gravitaire est plus importante que la composante d'absorption, donc l'eau qui n'est pas retenue par le sol s'écoule en profondeur. La capacité au champ nous indique donc le potentiel matriciel maximal à atteindre suite à une irrigation. Si cette valeur est dépassée suite à un apport d'eau excessif, le surplus sera drainé. Tout efforts ou argent investis pour irriguer au-delà de cette valeur sont donc perdus. La capacité au champ se mesure au champ à l'aide d'un tensiomètre, 24 à 36 heures après la saturation complète du sol (soit après une pluie importante), lorsque les valeurs de tensions se stabilisent.

2.5.8.1.1 Interprétation des résultats obtenus pour le champ à l'étude

La meilleure façon d'interpréter les résultats obtenus est d'illustrer graphiquement les courbes de conductivité hydraulique non saturée. Parmi les courbes obtenues, celles de l'échantillon T5A500 ont été retenues, car elles se rapprochent des valeurs moyennes pour le champ (tableau 7) et sont donc les plus représentatives. D'abord, la capacité au champ (θ_c) est d'environ -60 cm, soit 6 kPa. La valeur correspondant au point de flétrissement temporaire est d'environ -75 cm, soit 7,5 kPa. Cette valeur 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 de 1 mm par 6 heures. Une tension plus élevée à celle correspondant à ce point indiquerait une situation où la plante subirait un grand stress hydrique. Théoriquement, la tension de l'eau dans le sol devrait donc être maintenue à une tension inférieure à 7,5 kPa. Dans la pratique, cette valeur, théorique, devrait toutefois être confirmée à petite échelle *in situ*.

Pour ce champ la tension permettant de fournir 6 mm d'eau en 6 heures à la plante est inférieure à celle pour la capacité au champ. Conséquemment, cela indique que la remontée capillaire de ce sol est insuffisante pour fournir à une demande en eau de la plante de 6 mm en 6 heures.

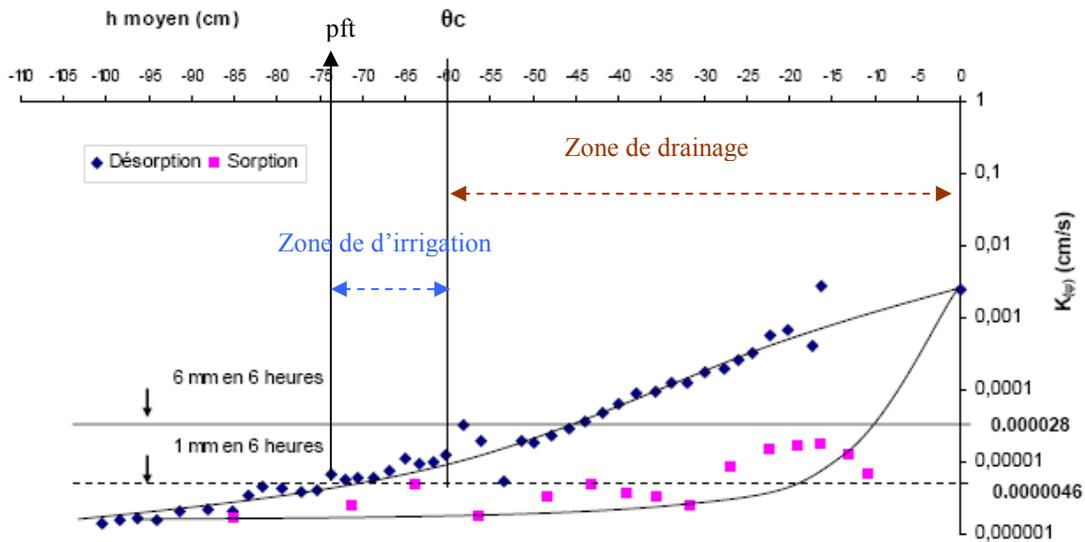


Figure 13. Courbes de conductivité hydraulique non saturée, échantillon T5A500.

2.5.8.2 Courbes de rétention.

La courbe de rétention décrit la relation entre la teneur en eau volumique du sol et le potentiel matriciel. Plus l'humidité du sol diminue, plus le potentiel matriciel augmente. 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 fournit plusieurs informations utiles dans l'élaboration d'une stratégie d'irrigation, telles que la capacité en air, la taille et la distribution des pores ou encore la réserve en eau utilisable. On peut donc, d'après cette courbe, 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, les potentiels matriciels minimaux pour que la plante prélève 1 ou 6 mm d'eau entre 9h00 et 15h00 ont été déterminés. Avec la courbe de rétention, on peut trouver la teneur en eau correspondant à ces valeurs, donc la teneur en eau minimale que le sol doit contenir pour subvenir aux besoins des cultures. Cette teneur en eau correspond au point de flétrissement temporaire, tel qu'expliqué précédemment. Une fois la teneur en eau au point de flétrissement temporaire et la capacité au champ connus, il est possible de déterminer la réserve en eau facilement utilisable du sol.

La réserve en eau facilement utilisable (RFU) correspond au contenu en eau que les plantes peuvent aisément extraire du sol. En effet, une certaine quantité d'eau est très liée aux particules de sol et ne peut être utilisée par les cultures. De plus, les plantes ne

peuvent utiliser l'eau de gravité. La teneur en eau facilement utilisable se situe donc entre le point de flétrissement temporaire et la capacité au champ. Pour la déterminer, il faut soustraire la teneur en eau au point de flétrissement temporaire de la teneur en eau à la capacité au champ.

La courbe de rétention permet également de connaître la **capacité en air du sol**, qui correspond au volume d'eau perdue par gravité et remplacée par de l'air. La capacité en air du sol, ou porosité d'air du sol, permet de comprendre le mouvement et l'entreposage de l'eau et des gaz dans le sol. En effet, l'aération des sols est essentielle à la survie des cultures.

Les courbes de rétention ont été tracées à partir des données recueillies lors de la mesure de la conductivité hydraulique non saturée. L'estimation de la teneur en eau minimale que le sol doit contenir pour subvenir aux besoins des cultures se fait ainsi : on considère que la plante a des besoins minimums de 1 mm d'eau pour satisfaire ses besoins pendant 6 heures, ce qui correspond à une conductivité hydraulique de $4,6E-06 \text{ cm s}^{-1}$. Comme pour l'exemple précédent, les courbes de rétention illustrées à la figure 14 sont celles de l'échantillon T5A500, car elles sont les plus représentatives pour le champ. À titre d'exemple, pour ce sol, la teneur en eau à saturation (θ_s) est de $0,56 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, tandis que celle à la capacité au champ (θ_c) est de $0,31 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$. La valeur du potentiel matriciel à la capacité au champ (-60 cm), illustrée à la figure 14, a permis de déterminer son équivalent en teneur en eau (ligne bleue). La différence entre la teneur en eau à saturation (θ_s) et celle à la capacité au champ (θ_c) correspond à la teneur en air (θ_a), qui est donc de $0,25 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$.

Les courbes de conductivité hydraulique non saturée présentées à la figure 13, ont permis de déterminer que la teneur en eau au point de flétrissement était de $0,29 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, soit la valeur de la teneur en eau qui correspond au potentiel matriciel (ligne rouge) et permettent d'estimer la RFU en soustrayant cette valeur à celle de la teneur en eau à la capacité au champ, soit $0,02 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$. 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_{ptf}). En considérant une profondeur des racines de 30 cm, ce sol serait en mesure de retenir 6 mm d'eau (équation 2). Toutefois, cette valeur est inférieure à celle généralement véhiculée dans la littérature pour les sols sableux, soit près de 21 mm par 30 cm de sol. Quoi qu'il en soit, 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.

Équation 2. Calcul de la capacité de rétention en eau d'un sol selon la profondeur des racines.

$$\begin{aligned} & \text{Profondeur des racines} * (\theta_c - \theta_{1 \text{ mm}}) \\ & 30 \text{ cm} * (0,31 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3} - 0,29 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}) = 0,6 \text{ cm} \end{aligned}$$

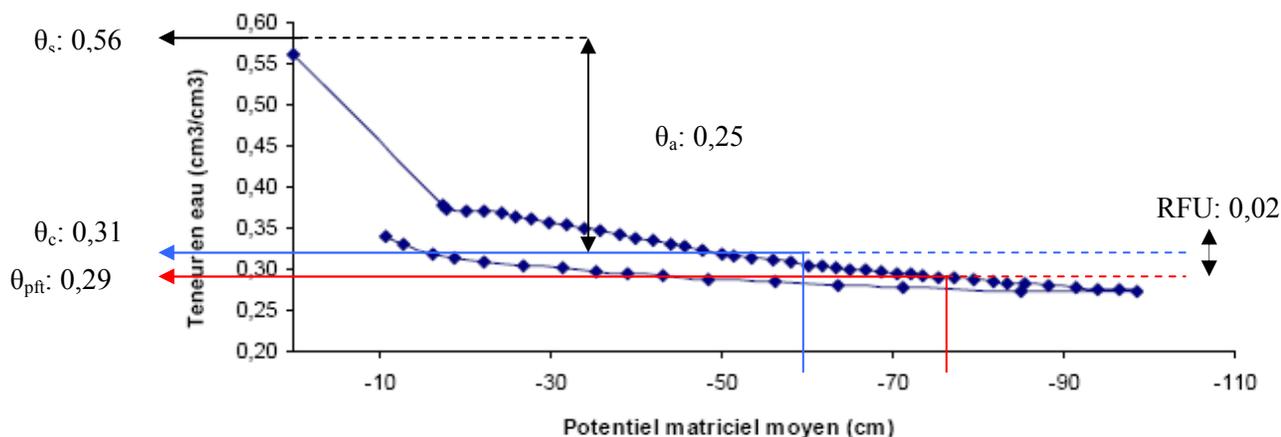


Figure 14. Courbes de rétention d'eau en désorption et sorption représentatives pour le champ à l'étude.

2.5.8.3 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 % ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) d'air, il y a anoxie. Par contre, plus le sol est exposé à l'oxygène, plus il s'oxyde et se dégrade. La valeur de teneur en air moyenne calculée pour le sol à l'étude, soit 29 %, indique que le sol assure une bonne aération aux racines.

2.5.8.4 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 les 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'elle entraîne en surface l'accumulation de l'eau qui ne peut s'infiltrer dans le sol. Cette accumulation d'eau génère un ruissellement rapide suite à une pluie continue ou intense. De plus, ces sols sont lents à se drainer suite à une saturation. L'eau reste donc longtemps à la surface des sols, limitant ainsi l'aération des cultures. Si les cultures sont asphyxiées trop longtemps, cela peut causer une perte de rendement considérable.

La conductivité hydraulique moyenne pour ce sol est de $0,01 \text{ cm s}^{-1}$, soit légèrement supérieure à la valeur généralement véhiculée dans la littérature pour un sol sableux de $0,0057 \text{ cm s}^{-1}$. À titre comparatif, la valeur proposée pour une argile est de $0,000017 \text{ cm s}^{-1}$.

À titre complémentaire, la figure 15 représente la cartographie du mouvement de l'eau à la surface du champ lorsque le sol est saturé en eau. Cette carte a été réalisée à partir des relevés topographiques effectués en plusieurs points (figure 16). Les points jaunes représentent les 30 tensiomètres qui étaient installés dans le champ. Les zones aux contours bleus représentent des mini-bassins versant où la direction d'écoulement de l'eau est indiquée avec les lignes jaunes. Les zones dont le contour est rose indiquent où il serait possible d'apercevoir des accumulations d'eau. Toutefois, l'écoulement de l'eau suggéré par cette carte s'applique difficilement lorsque la saison de culture est débutée. En effet, la disposition longitudinale des rangs de pommes de terre influence à son tour l'écoulement de l'eau.

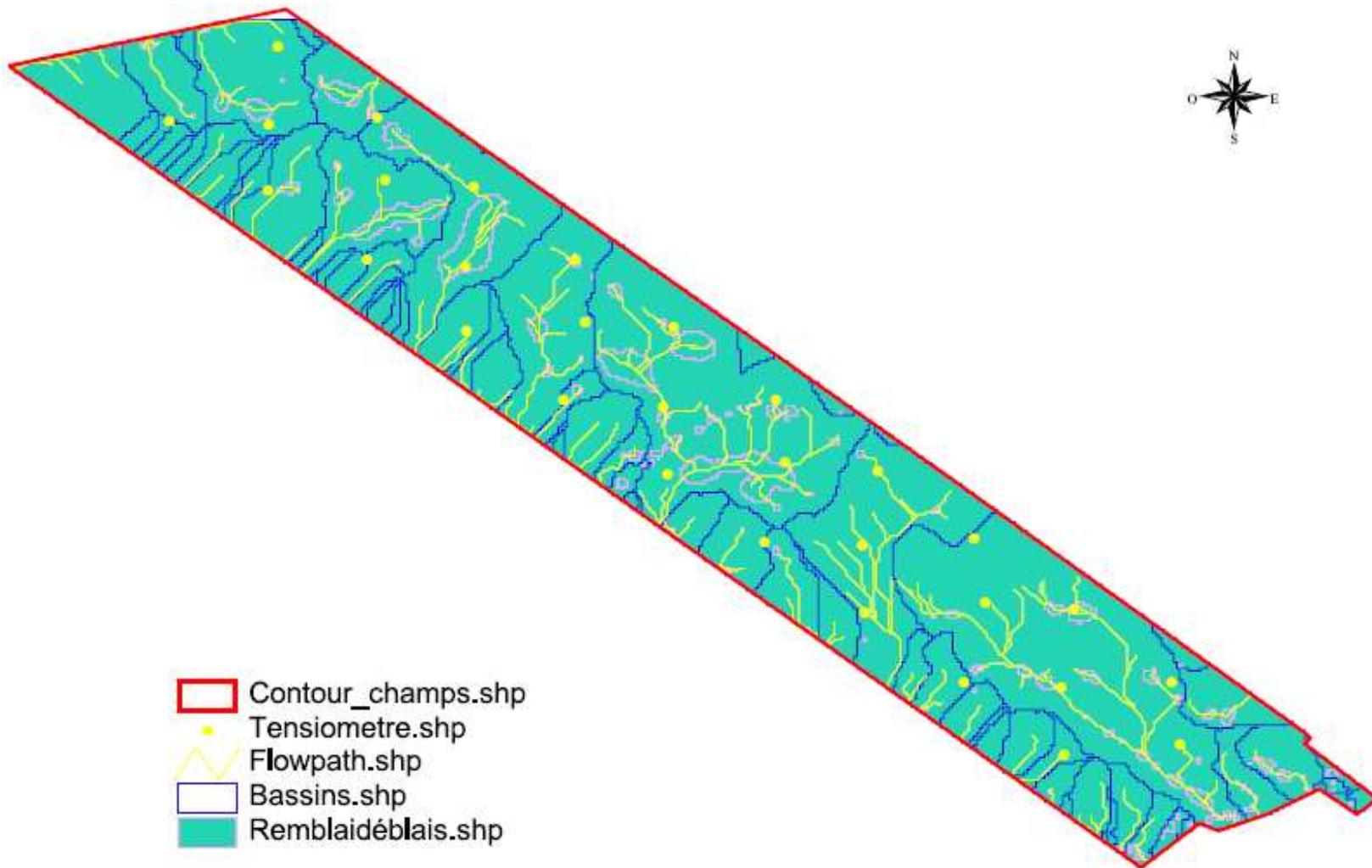


Figure 15. Direction de l'écoulement des eaux de surface en condition de sol saturée.

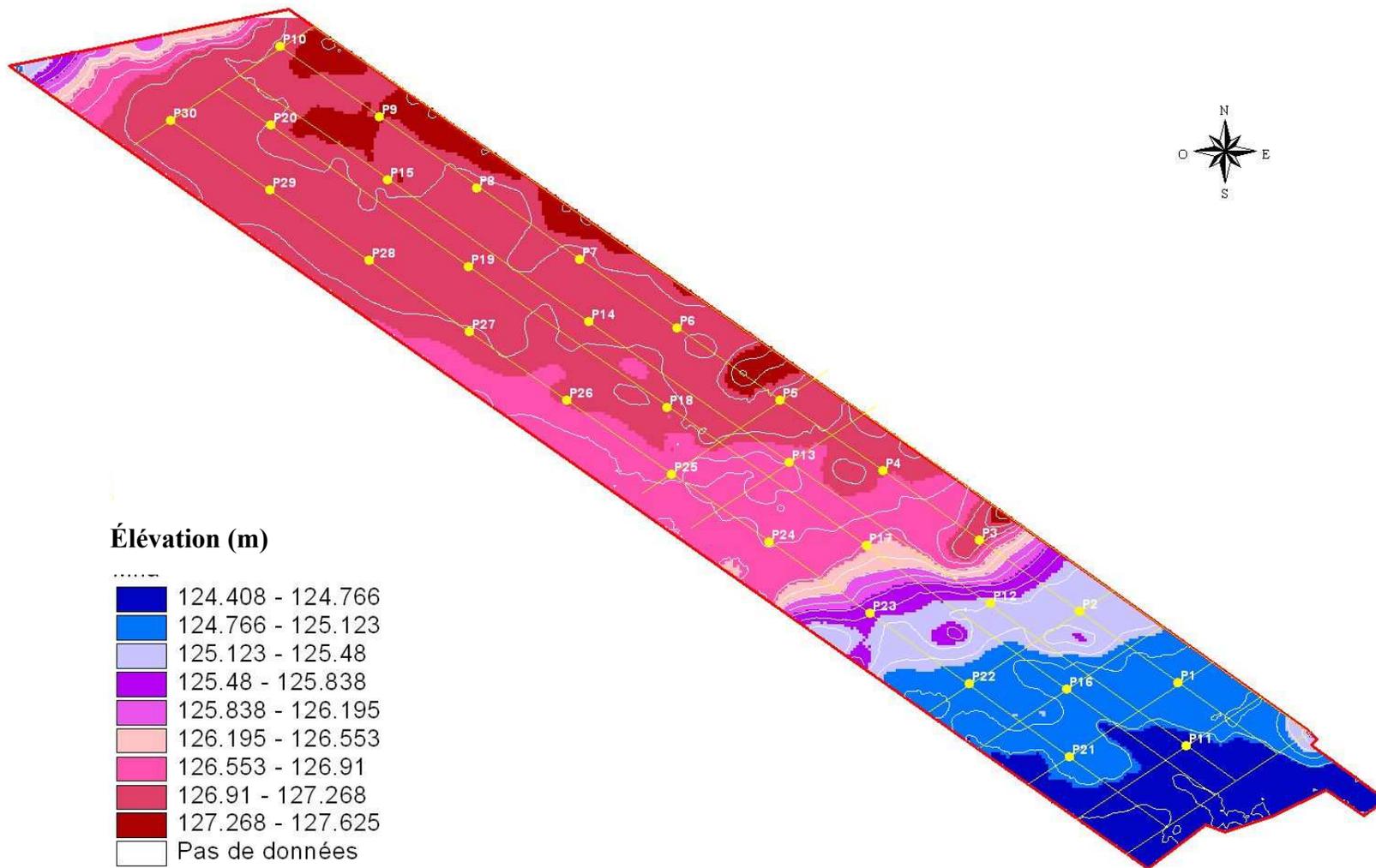


Figure 16. Relevé topographique du champ à l'étude.

2.5.8.5 Densité apparente (ρ_a) et réelle (ρ_r)

La densité d'un sol est un paramètre important à connaître puisqu'elle 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 des pertes de rendements substantielles pour la culture.

Il existe deux sortes de densités. 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. La valeur moyenne pour ce champ, soit 1,2 g cm⁻³, indique que ce sol a une bonne structure. 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.

2.5.8.5.1 *Synthèse de l'analyse des résultats pour cet objectif*

En théorie, le déclenchement de l'irrigation devrait se faire à la tension correspondant au point de flétrissement temporaire (θ_{ptf}) qui est d'environ 7,5 kPa pour ce sol sableux. Une tension supérieure à ce point suppose que la plante subit un stress hydrique, car la réserve facilement utilisable en eau du sol (RFU) est épuisée. À partir du calcul de la RFU, il a été possible d'estimer le volume d'eau à appliquer sans qu'il y ait de perte d'eau par lessivage. La RFU pour ce sol est de 0,02 cm cm⁻³. Cette valeur multipliée par la profondeur des racines renseigne sur la capacité de ce sol à retenir l'eau sans causer de perte dans l'environnement. Donc, 30 cm de sol devrait retenir 6 mm d'eau, ce qui est inférieure à la valeur véhiculée dans la littérature pour ce type de sol.

Enfin, la densité apparente (ρ_a) de 1,20 g cm⁻³ et la teneur en air (θ_a) de 29 % de ce sol suggèrent que les excès d'humidité possiblement en cause dans la diminution des rendements dans certaines zones sont dus à un apport excédentaire d'eau par la pluie et l'irrigation et non par un problème de structure du sol.

3 IMPACT

3.1 Impact sur le secteur

Ce projet a un impact majeur sur la gestion de l'eau d'irrigation. Il démontre que même lorsqu'une irrigation uniforme est appliquée, les apports d'eau peuvent être inadéquats puisque les teneurs en eau du sol au champ sont variables et suivent des patrons structurés qui exigent l'ajustement des quantités d'eau appliquées selon les secteurs. Le projet démontre donc que l'on pourrait augmenter les rendements vendables en tenant compte de ces patrons d'humidité. Cette nouvelle approche est transférable puisque la présence de patrons structurés se retrouve probablement dans une majorité de champ sous irrigation au Québec. Les résultats obtenus dans le cadre de ce projet pourront donc profiter à l'ensemble du secteur de la production de la pomme de terre et à plusieurs cultures maraîchères qui ont recours à l'irrigation au Québec.

Par ailleurs, ce projet sensibilise les producteurs et les conseillers agricoles à l'importance stratégique de tenir compte des besoins différentiels qui peuvent exister dans un champ selon les propriétés physiques du sol dans la gestion de l'eau d'irrigation.

Le projet proposé a donc permis d'acquérir des connaissances qui contribueront au développement d'un savoir-faire permettant une gestion de l'irrigation dite de précision menant à une utilisation rationnelle de l'eau tout en tenant compte de la rentabilité pour le producteur et du respect de l'environnement.

3.2 Pérennité du projet

Certes, la pérennité du projet sera assurée par les différents documents qui seront produits et par la disponibilité des intervenants, travaillant dans le secteur public, qui ont été impliqués dans le projet. De plus, elle sera renforcée par la réalisation du second volet du projet. En effet, les connaissances qui ont été acquises seront mise à profit dès le printemps 2008 dans le cadre du projet intitulé « Irrigation de la pomme de terre sous une gestion locale et globale en lien avec les rendements et la perte des nitrates » qui aura lieu dans le même champ et qui prendra fin en 2011. Par ailleurs, l'expérience et les connaissances acquises par les producteurs exploitant le site où était réalisé le projet assureront également sa diffusion.

4 REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier messieurs Victorin et Norbert Drolet de la Ferme Victorin Drolet inc. et M. Jean Noreau du MAPAQ, pour leur collaboration au projet. Nos remerciements s'adressent également à Mme Michèle Grenier de l'IRDA pour sa précieuse collaboration dans l'analyse statistique des données et aux entreprises HORTAU et Dubois Agrinovation pour leur soutien technique et leur participation financière au projet.

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

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.

Gallichand, J., R.S. Broughton, J. Boivert et P. Rochette. 1990. Simulation of irrigation requirement for major crops in South Western Quebec. Canadian Agricultural Engineering, 9 p.

Isaaks, E.H. et R.M. Srivastava. 1989. An introduction to applied geostatistics, Oxford University Press, New York.

Kramer, P.J. 1983. Water relations of plants. Academic Press, New York, NY.

Taylor, S.A. 1965. Managing irrigation water on the farm. ASAE 8:433–435.

6 PLAN DE FINANCEMENT ET CONCILIATION DES DÉPENSES

Cette section sera complétée et envoyée par le Syndicat des producteurs de pommes de terre de la région de Québec.

ANNEXE 1. Pluviométrie

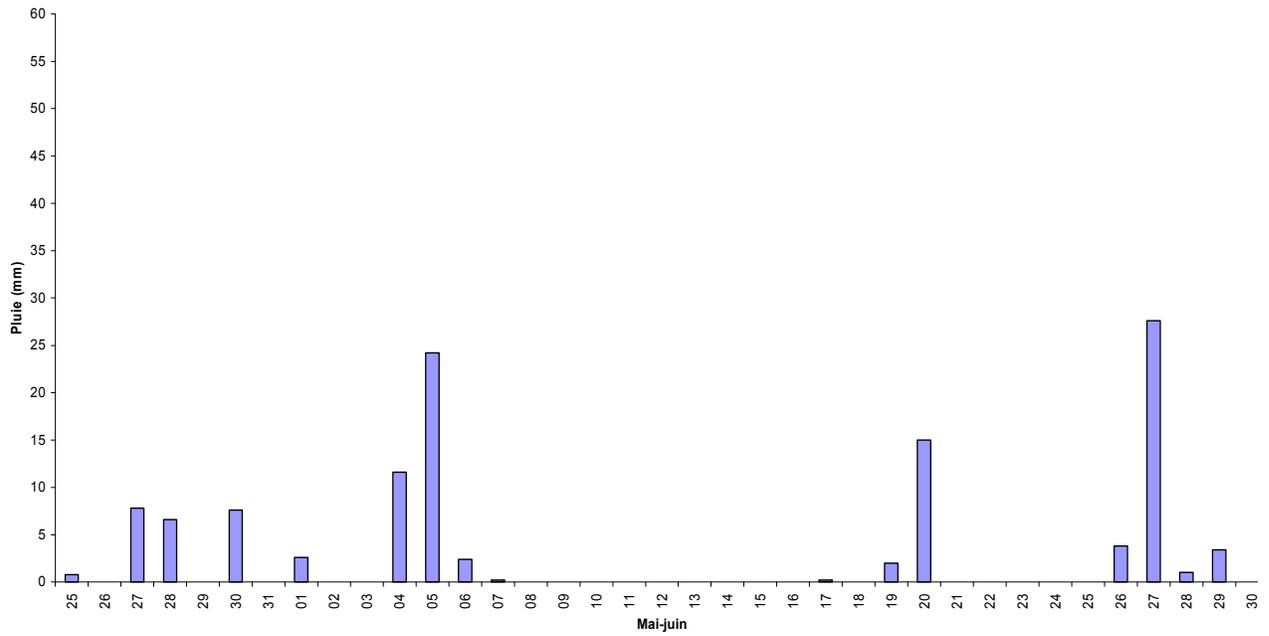


Figure 17. Pluviométrie mesurée sur le site à l'étude du 25 mai au 30 juin 2007.

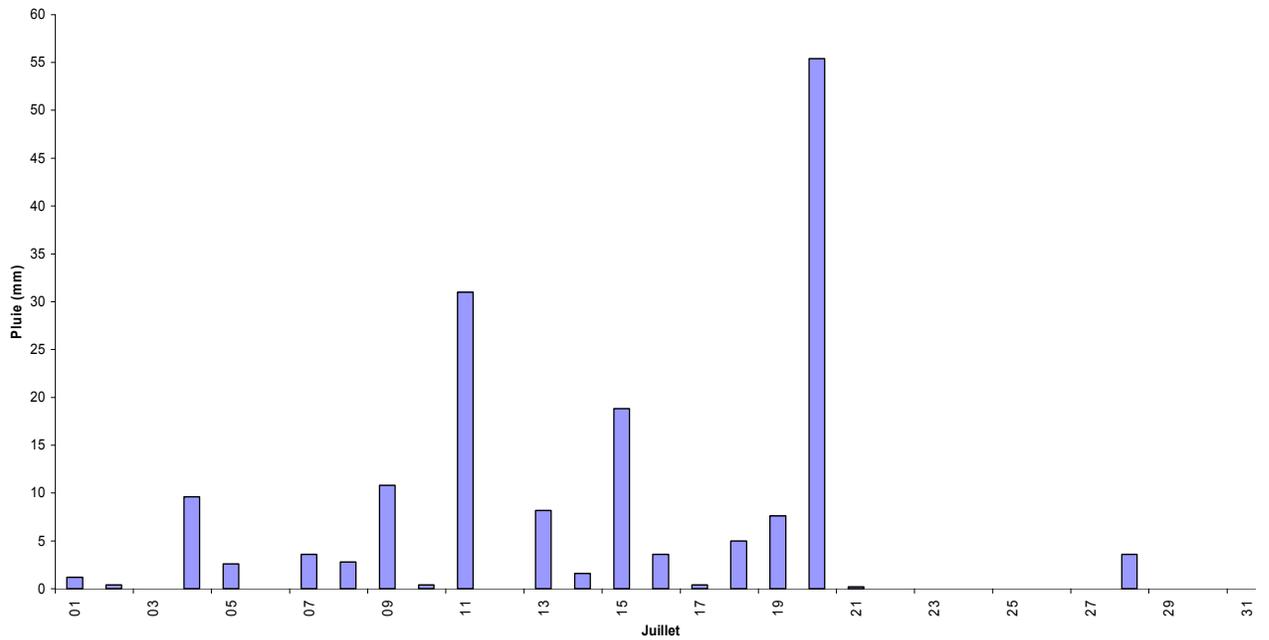


Figure 18. Pluviométrie mesurée sur le site à l'étude en juillet 2007.

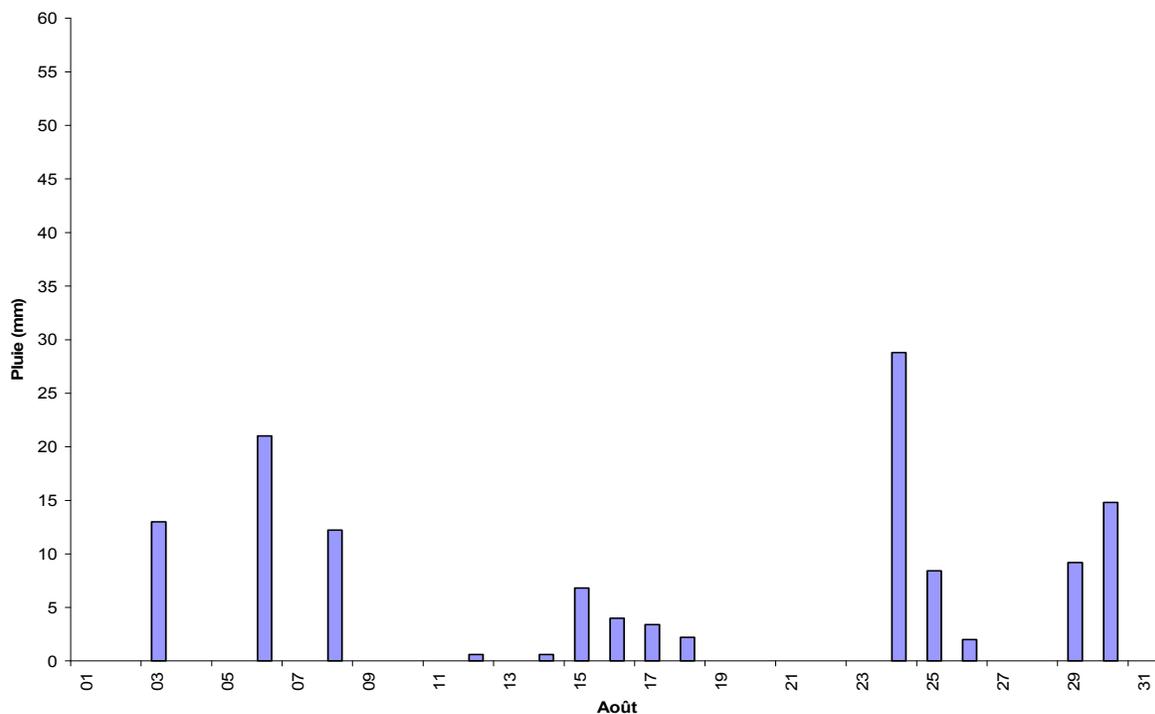


Figure 19. Pluviométrie mesurée sur le site à l'étude en août 2007.

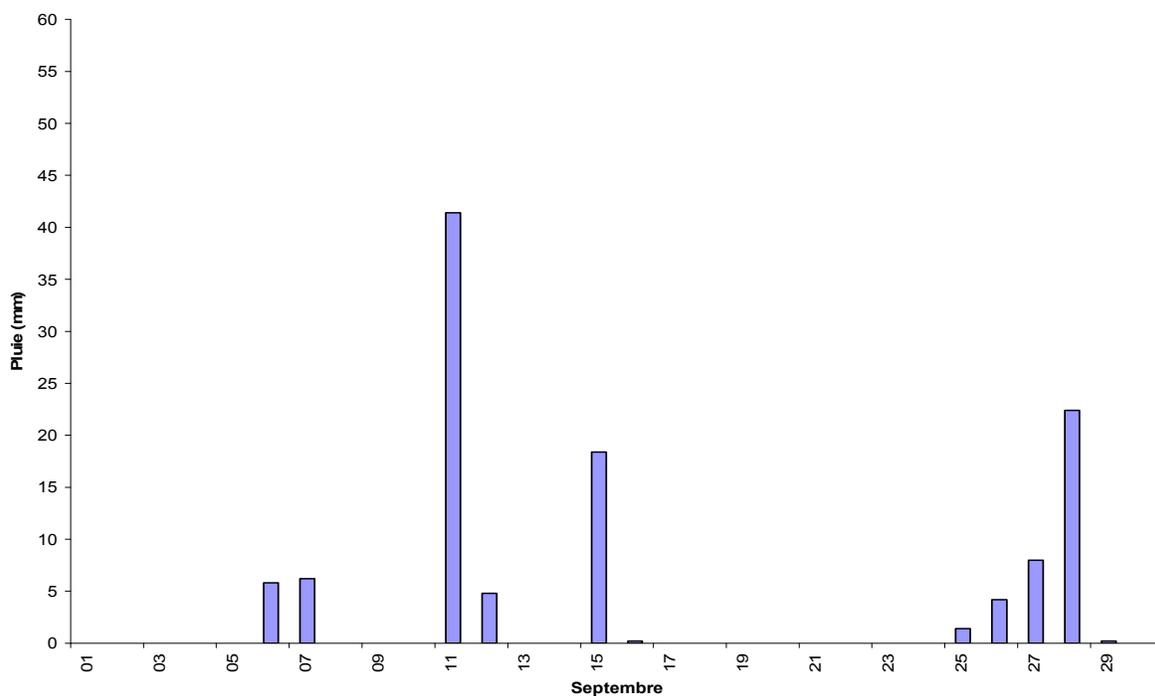


Figure 20. Pluviométrie mesurée sur le site à l'étude en septembre 2007.

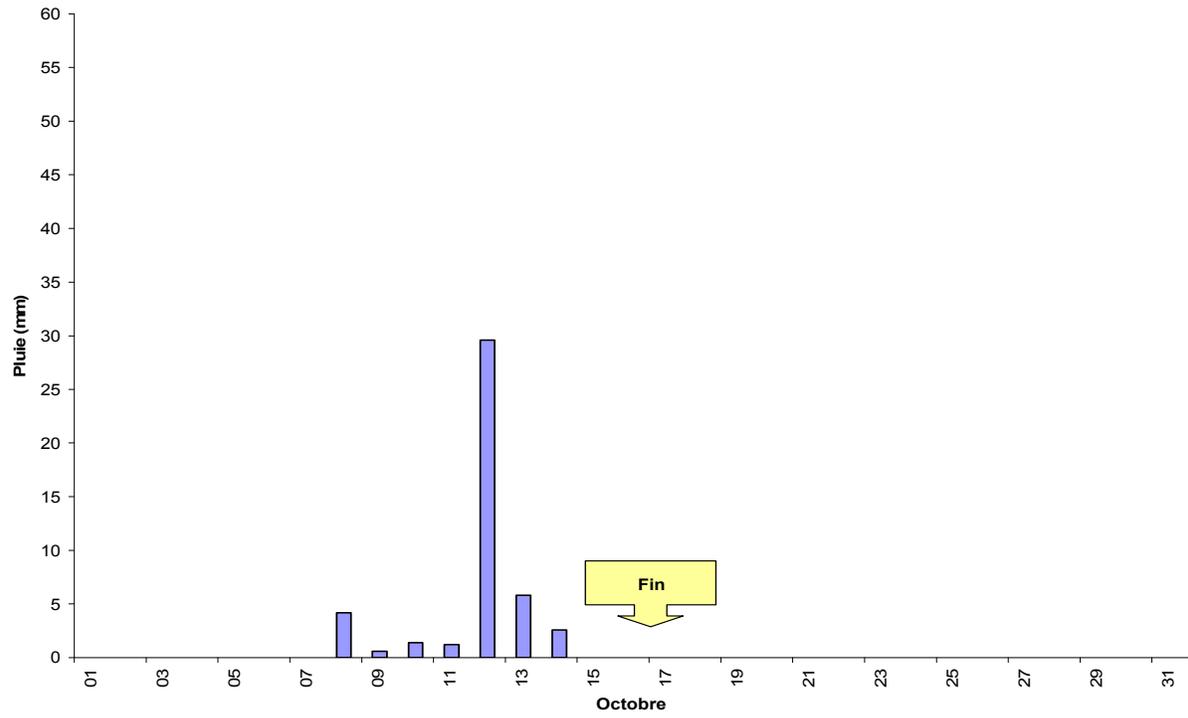


Figure 21. Pluviométrie mesurée sur le site à l'étude du 1^{er} au 17 octobre 2007.

ANNEXE 2. Photos



Figure 22. Champ à l'étude.

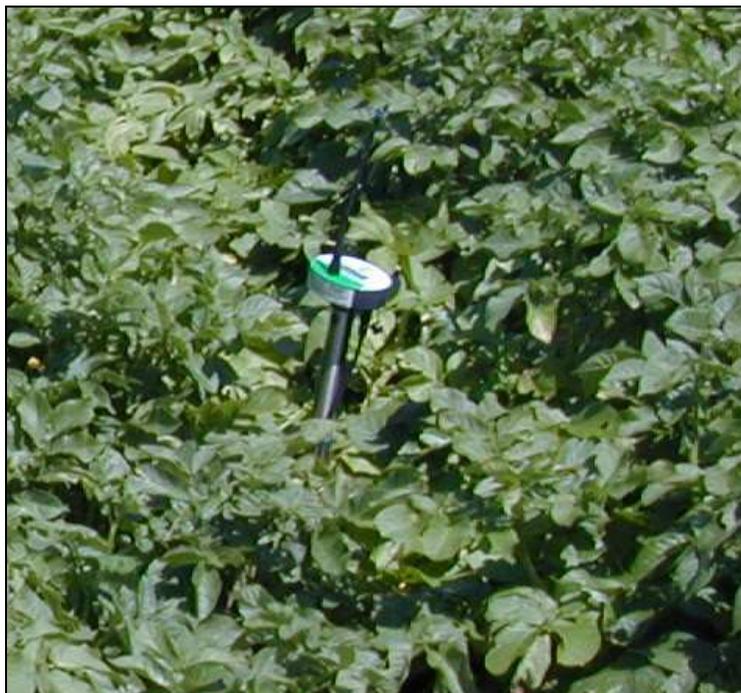


Figure 23. Tensiomètre sans fil (Hortimètre T-80).