



Cibler le stade phénologique optimal pour amorcer l'irrigation en lien avec le gain en pommes de terre et la perte des nitrates.

DS 6163

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

Rapport final

Mars 2007 à novembre 2008

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

Avec la collaboration de

Julie Mainguy, agr. – IRDA
Danièle Pagé, t.a. – IRDA
Daniel Bergeron, agr. – MAPAQ
Serge Bouchard, t.a. – MAPAQ
Guy Roy, agr. – Groupe Gosselin

Novembre 2008

Table des matières

1	DESCRIPTION DU PROJET	6
1.1	Introduction	6
1.2	Objectif général	8
1.3	Objectifs spécifiques	8
1.4	Atteinte des objectifs	9
1.5	Étapes et échéances	10
2	MATÉRIEL ET MÉTHODE.....	13
2.1	Mise en place de l'expérience	13
2.2	Traitements.....	13
2.3	Dispositif expérimental	15
2.4	Collecte des données	17
2.5	Analyse des données	18
3	RÉSULTATS ET ANALYSE.....	19
3.1	Résultats obtenus selon les objectifs spécifiques	19
3.1.1	Mesurer l'impact du mode de pilotage de l'irrigation par tensiométrie sur le développement de la culture et le rendement commercialisable.	19
3.1.2	Suivre l'impact des conditions hydriques au champ sur le développement et la qualité des tubercules selon le cultivar en contexte de production commerciale.	26
3.1.3	Étudier l'impact possible des différents régimes hydriques sur la qualité des tubercules (densité relative, nitrates), incluant le contrôle des maladies fongiques majeures telles le mildiou, la rhizoctonie et la gale.	29
3.1.4	Mesurer l'impact des différents modes de pilotage de l'irrigation par aspersion sur les pertes d'azote vers l'environnement par le lessivage des nitrates.	32
3.1.5	Établir le bilan d'utilisation de l'azote dans la culture de la pomme de terre irriguée. 35	
3.1.6	Déterminer le rapport optimal entre le mode de pilotage de l'irrigation, le lessivage des nitrates, le rendement en tubercules et la qualité de ces derniers dans une perspective de conservation de l'eau et d'optimisation de l'utilisation des éléments fertilisants par la plante.	38
3.1.7	Évaluer la rentabilité économique de l'irrigation dans la pomme de terre.	39
4	IMPACT	41
4.1	Impact sur le secteur.....	41
4.2	Pérennité du projet	42
5	DIFFUSION DES RÉSULTATS	43
6	REMERCIEMENTS	45
7	RÉFÉRENCES	45
8	HISTOIRE D'UNE RÉUSSITE.....	46
9	ANNEXE - Photographies reliées au projet	47

Liste des figures

Figure 1. Dispositif expérimental pour le site de Deschambault (carré latin 5 x 5).	15
Figure 2. Disposition des cultivars pour le site de l’Ile d’Orléans en 2007 et 2008.....	16
Figure 3. Progression dans le temps des trois stades phénologiques retenus pour les différents traitements d’irrigation selon le nombre de jours qui les séparent de la date de plantation pour les deux années du projet au site de Deschambault.	19
Figure 4. Rendements vendables, non vendables et totaux mesurés dans les cinq traitements pour le site de Deschambault en 2007 et moyenne des rendements vendables A-C-D-E (ligne verticale).	21
Figure 5. Rendements vendables, non vendables et totaux mesurés dans les cinq traitements pour le site de Deschambault en 2008 et moyenne des rendements vendables A-C-D-E (ligne verticale).	21
Figure 6. Tension moyenne de l’eau dans le sol des 25 parcelles au site de Deschambault et pluviométrie mesurée dès l’émergence des plants le 11 juin 2007, soit 28 jours après la plantation.	22
Figure 7. Tension moyenne de l’eau dans le sol des 25 parcelles au site de Deschambault et pluviométrie mesurée dès l’émergence des plants le 9 juin 2008, soit 24 jours après la plantation.	22
Figure 8. Progression dans le temps du taux de relation entre la tension de l’eau dans le sol et le rendement en tubercules vendables mesuré au site de Deschambault en 2007.....	24
Figure 9. Progression dans le temps du taux de relation entre la tension de l’eau dans le sol et le rendement en tubercules vendables mesuré au site de Deschambault en 2008.....	24
Figure 10. Progression dans le temps du taux de relation entre la tension de l’eau dans le sol et le rendement en tubercules de calibre moyen mesuré au site de Deschambault en 2007.	25
Figure 11. Progression dans le temps du taux de relation entre la tension de l’eau dans le sol et le rendement en tubercules de calibre moyen mesuré au site de Deschambault en 2008.	25
Figure 12. Rendements vendables, non vendables et totaux mesurés des trois cultivars pour le dispositif à l’Ile d’Orléans en 2007.	27
Figure 13. Rendements vendables, non vendables et totaux mesurés des trois cultivars pour le dispositif à l’Ile d’Orléans en 2008.	27
Figure 14. Pluviométrie mesurée dès l’implantation du dispositif à l’Ile d’Orléans le 24 mai jusqu’au 30 septembre 2007.	28
Figure 15. Pluviométrie mesurée dès l’implantation du dispositif à l’Ile d’Orléans le 30 mai jusqu’au 30 septembre 2008.	28
Figure 16. Progression dans le temps du taux de relation entre la tension de l’eau dans le sol et l’indice de rhizoctonie évalué sur les tubercules vendables récoltés au site de Deschambault en 2007.	30
Figure 17. Progression dans le temps du taux de relation entre la tension de l’eau dans le sol et l’indice de rhizoctonie évalué sur les tubercules vendables récoltés au site de Deschambault en 2008.	30
Figure 18. Progression dans le temps du taux de relation entre la tension de l’eau dans le sol et la densité relative des tubercules vendables récoltés au site de Deschambault en 2008.	31
Figure 19. Concentration en nitrates des tubercules récoltés au site de Deschambault en 2007 et 2008.	31

Figure 20. Dynamique des nitrates au travers du profil de sol au cours des saisons 2007 et 2008.	34
Figure 21. Concentration en azote de la 4 ^e feuille mature des plants de pomme de terre aux stades initiation des tubercules (juin) et pleine floraison (juillet) au site de Deschambault en 2007 et 2008.	35
Figure 22. Prélèvements totaux (fanés et tubercules) en azote pour la saison et exportations d'azote par les tubercules à la récolte en 2007 et 2008 au site de Deschambault.	36
Figure 23. Concentration en azote total et en nitrates des tubercules à la récolte en 2007 et 2008 au site de Deschambault.	36
Figure 24. Dispositif d'irrigation par aspersion en carré-latin (vue vers l'est), Deschambault à l'été 2007.	47
Figure 25. Site de l'Ile d'Orléans le 6 mai 2007 à la plantation.	47
Figure 26. Tensiomètre (Hortimètre) installé dans la zone racinaire.	48
Figure 27. Équipements pour le suivi des conditions météorologiques et pour la communication avec les tensiomètres, Deschambault, 22 mai 2007.	49
Figure 28. Échantillonneur de sol de marque <i>Giddings</i> dans les parcelles du dispositif de Deschambault, 19 octobre 2007.	50
Figure 29. Récolte des pommes de terre, Deschambault, 25 septembre 2007.	51

Liste des tableaux

Tableau 1. Impact de la fertilisation N sur le bilan azoté de la culture de la pomme de terre pour les saisons 2007 et 2008 au site de Deschambault.....	37
Tableau 2. Évolution des contenus en nutriments du sol dans la culture de la pomme de terre pour les saisons 2007 et 2008.	38

1 DESCRIPTION DU PROJET

1.1 Introduction

Les fondements d'une gestion raisonnée de l'irrigation reposent sur la connaissance de certaines propriétés physiques spécifiques au sol en culture, sur l'utilisation d'outils permettant de mesurer quantitativement le statut hydrique du sol et sur l'intégration des besoins en eau de la plante cultivée. Une telle gestion peut accroître le rendement en tubercules vendables et diminuer les coûts de production en conservant l'eau, l'énergie et les éléments mobiles du sol.

Le sol est un réservoir d'eau dont la capacité de rétention et le volume sont déterminés par la nature de ce dernier et par l'étendue du système racinaire de la plante cultivée. En ce qui a trait à la pomme de terre, l'enracinement est relativement superficiel et l'essentiel des racines impliquées dans l'alimentation hydrique du plant est situé dans les 30 premiers cm (Fulton 1970; Loon 1981; Rowe 1993). Conséquemment, si un stress hydrique devient un facteur limitatif à la croissance des racines, le plant de pomme de terre sera d'autant plus sensible au statut hydrique du sol, car le volume de sol exploitable sera restreint.

Pour déterminer la capacité de rétention de ce réservoir, un premier repère est facilement identifiable. En effet, de 24 à 36 heures à la suite d'une pluie importante saturant complètement le sol en eau, un certain volume d'eau non retenu par les particules de sol sera drainé par gravité. Le volume d'eau restant dans le sol à ce moment est connu sous le vocable de capacité au champ. Cette réserve en eau est facilement utilisable par la plante, et ce, jusqu'au point de flétrissement temporaire. À partir de ce point, les besoins de la plante ne sont que partiellement comblés et cette dernière est exposée à un stress hydrique.

L'une des premières réponses physiologiques du plant de pomme de terre confronté à un tel stress est de fermer ou du moins de réduire l'ouverture de ses stomates. Ces derniers permettent les échanges gazeux entre la plante et l'environnement et lorsque la demande en eau des parties supérieures dépasse la capacité des racines à puiser l'eau nécessaire à cet appel, la fermeture des stomates protège le plant contre le risque de dessèchement. Toutefois, comme la transpiration est diminuée, la température du plant augmente et l'activité photosynthétique diminue. Puisque le développement optimal du plant est tributaire d'une activité photosynthétique élevée, le maintien d'une disponibilité en eau suffisante est donc essentiel pour s'assurer d'une production optimale. Ainsi, la connaissance des points de références que sont la capacité au champ et le point de flétrissement temporaire est indispensable à la détermination du moment opportun pour irriguer, ainsi que du volume d'eau à appliquer.

Certains outils permettant de mesurer quantitativement le statut hydrique du sol existent. Cependant, bien qu'ils soient précis, plusieurs d'entre eux ne présentent pas une facilité d'utilisation permettant leur usage sur une base régulière en condition de productions commerciales. Pour être adoptée par les producteurs, l'utilisation d'un outil doit en effet être compatible avec les exigences de la production, ce qui est un critère déterminant à considérer. En ce sens, la tensiométrie dont l'utilisation est conviviale et rapide est tout indiquée.

Le tensiomètre indique la force avec laquelle le sol retient l'eau, donc la force qui doit être déployée par la plante pour puiser l'eau. À capacité au champ, la force requise est faible, mais celle-ci augmente au fur et à mesure que le sol s'assèche. À un certain moment, la force devient trop importante pour que la plante puisse répondre à ses besoins en eau, il y a alors flétrissement temporaire de cette dernière. Ultimement, le point de flétrissement permanent sera atteint. La tension de l'eau dans le sol, mesurée en kilopascals (kPa) ou en centibars (cbar), correspondant à la capacité au champ, est facilement mesurable suite à une pluie importante. Toutefois, la tension correspondant au point de flétrissement temporaire doit être déterminée en laboratoire.

Pour la pomme de terre, il est généralement reconnu que les apports d'eau par irrigation devraient se faire à 65% de la réserve en eau utile du sol. Cette réserve correspond au volume d'eau existant entre le point de flétrissement permanent et la capacité au champ. Cette valeur (65%) peut être déterminée en laboratoire ou estimée à partir de chartes générales. Pour un sol sableux à loam sableux, les chartes indiquent une valeur théorique de tension comprise entre 25 et 35 kPa (King et Stark 1997).

Connaître la valeur pour le déclenchement de l'irrigation est certes très important, mais celle pour l'arrêt de l'apport d'eau l'est tout autant. Les apports d'eau devraient cesser lorsque la valeur de tension de l'eau dans le sol atteint la capacité au champ puisque l'énergie, l'argent et l'eau utilisés pour dépasser cette valeur ne seront pas rentabilisés. À cela s'ajouteront des pertes de rendements dues au fait que la pomme de terre est sensible aux stress hydriques découlant des conditions anaérobiques occasionnées par les surplus d'eau (Holder et Cary 1984). De plus, il faut considérer que les besoins en eau de la culture en cours de saison sont variables, de même que les conséquences des stress hydriques sur le rendement potentiel selon le moment où ils se produisent. Par exemple, dans la culture du maïs, il est reconnu que les pertes de rendements occasionnées par un manque temporaire de phosphore dû à des conditions trop sèches de sol au stade 6 feuilles ne pourront pas être récupérées par la suite, même si les conditions redeviennent optimales pour le reste de la saison (Barry et Miller 1989). De même, il se pourrait que les besoins en irrigation soient plus déterminants durant une période particulière du développement et que l'investissement de ressources dans la poursuite de l'irrigation en dehors de cette période ne présente pas un ratio coûts/bénéfices justifiant son application. Malgré le côté hautement utilitaire de cette question et de ses répercussions potentielles sur la production de pommes de terre irriguées, il n'existe malheureusement pas d'études sur le sujet sous les conditions culturales du Québec. Pourtant, des études menées au Québec permettraient de formuler des avis techniques utiles aux producteurs de pommes de terre. Ce projet propose d'initier une recherche en ce sens.

1.2 Objectif général

Ce projet vise à régulariser et à augmenter les rendements commercialisables dans la culture de la pomme de terre en déterminant le stade phénologique optimal pour démarrer la régie d'irrigation sous gestion tensiométrique tout en préservant la qualité de l'environnement par une utilisation optimale de l'azote et de l'eau. Ceci permettra d'augmenter la rentabilité économique des entreprises du secteur de la pomme de terre tout en assurant une utilisation optimale des fertilisants par la plante dans un souci de production durable.

1.3 Objectifs spécifiques

- Mesurer l'impact du mode de pilotage de l'irrigation par tensiométrie sur le développement de la culture et le rendement commercialisable.
- Étudier l'impact possible des différents régimes hydriques sur la qualité des tubercules, incluant le contrôle des maladies fongiques majeures, le mildiou et la rhizoctonie, et la gale.
- Suivre l'impact des conditions hydriques au champ sur le développement et la qualité des tubercules selon le cultivar en contexte de production commerciale.
- Mesurer l'impact des différents modes de pilotage de l'irrigation par aspersion sur les pertes d'azote vers l'environnement par le lessivage des nitrates.
- Établir le bilan d'utilisation de l'azote dans la culture de la pomme de terre irriguée.
- Déterminer le rapport optimal entre le mode de pilotage de l'irrigation, le lessivage des nitrates, le rendement en tubercules et la qualité de ces derniers dans une perspective de conservation de l'eau et d'optimisation de l'utilisation des éléments fertilisants par la plante.
- Évaluer la rentabilité économique de l'irrigation dans la pomme de terre.

1.4 Atteinte des objectifs

L'abondance des précipitations durant les deux années de réalisation de ce projet a maintenu la tension de l'eau dans le sol à un niveau inférieur à la consigne de déclenchement du système d'irrigation. Conséquemment, les traitements n'ont pu être appliqués. Il est donc impossible d'un point de vue scientifique de répondre aux objectifs. Cependant, des résultats intéressants ont été générés et ces derniers permettent de tirer des conclusions pertinentes à l'avancement du secteur de la pomme de terre. De plus, ceux-ci confortent le choix d'objectifs qui avait été fait pour ce projet dans la mesure où ils suggèrent fortement que les conditions hydriques du sol ont une influence différente en cours de saison sur les rendements et modulent aussi l'utilisation de l'azote.

1.5 Étapes et échéances

Activités réalisées	Date prévue	Date réelle	Finalités	Notes
Établissement d'un partenariat avec l'entreprise Hortau	Hiver 2007	Hiver 2007	Achat de 25 tensiomètres	<i>Contribution financière de l'entreprise HORTAU au projet</i>
Rencontre avec le producteur impliqué pour le site de l'Île d'Orléans	Avril 2007	Avril 2007	Explication du projet, entente sur l'emplacement du dispositif	<i>L'échéancier convient au producteur</i>
Embauche d'une professionnelle de recherche	Mai 2007	1 ^{er} mai 2007		
Mise en place du dispositif expérimental au site de Deschambault	Mai 2007	14 mai 2007	Cibler le stade phénologique pour amorcer l'irrigation en lien avec le gain en pdt et la perte des nitrates	<i>5 traitements répétés 5 fois pour un total de 25 parcelles</i>
Installation des tensiomètres dans le dispositif de Deschambault	Mai 2007	22 mai 2007	Suivi de la disponibilité en eau en continu dans les parcelles	<i>Type Hortimètre T-80 Une sonde par parcelle</i>
Installation des appareils de mesure pour la pluviométrie, la T° et l'HR de l'air	Mai 2007	22 mai 2007	Suivi des données climatiques en cours de saison	<i>Pluviomètre HOBO modèle RG3-M, et HOBO Pro v2, modèle U23-001</i>
Mise en place du dispositif à l'Île d'Orléans, des appareils de mesure pour la pluviométrie, la T° et l'HR de l'air et installation des tensiomètres et des sondes de teneur en eau	Mai 2007	24 mai 2007	Bonifier le volet principal par l'acquisition de connaissances sur un plus grand nombre de cultivars en contexte de production commerciale	<i>Dispositif constitué de 3 cultivars répétés 4 fois Tensiomètres de type Irrrometer Sondes de type ThetaProbe</i>
Conduite des essais et collecte des données à Deschambault	Mai – sept. 2007	Mai – oct. 2007	Caractérisation du sol, mesure des prélèvements pour bilan azote sol-plante, évaluer le profil des nitrates	<i>Prélèvement de sols et de végétaux à des stades cibles de la croissance des plants, attention portée au mildiou</i>
Conduite des essais et collecte des données à l'Île d'Orléans	Mai – sept. 2007	Mai – oct. 2007	Caractérisation du sol, suivi des stades phénologiques des plants	<i>Le producteur s'occupe de la régie de culture</i>
Soumission des demandes d'analyses au laboratoire des sols	Juin – oct. 2007	Juin – oct. 2007	Analyse et traitement des données	<i>Tous les résultats reçus</i>
Récolte site Deschambault	Sept. 2007	25 sept. 2007	Comparaison entre traitements	
Récolte site Île d'Orléans	Sept. 2007	4 oct. 2007	Comparaison au site Deschambault	<i>Contexte de production commerciale</i>

Activités réalisées	Date prévue	Date réelle	Finalités	Notes
Évaluation de la qualité des tubercules et du rendement aux deux sites	Oct. 2007	Oct. – nov. 2007	Impact des conditions hydriques sur les tubercules	<i>Gale commune, rhizoctonie, densité relative, nitrates dans les tubercules</i>
Compilation et interprétation des données	Déc. 2007	Déc. 2007 – mars 2008	Rédaction rapport d'étape CDAQ	
Rédaction rapport d'étape CDAQ	Fév. 2008	Fév. – mars 2008	Remise au CDAQ	
Mise en place du dispositif expérimental au site de Deschambault	Mai 2008	16 mai 2008	Cibler le stade phénologique pour amorcer l'irrigation en lien avec le gain en pdt et la perte des nitrates	<i>Les parcelles sont installées exactement au même endroit qu'en 2007 Repérage au moyen de bornes</i>
Installation des appareils de mesure pour la pluviométrie, la T° et l'HR de l'air	Mai 2008	21 mai 2008	Suivi des données climatiques en cours de saison	<i>Pluviomètre HOBO modèle RG3-M, et HOBO Pro v2, modèle U23-001</i>
Installation des tensiomètres dans le dispositif de Deschambault	Mai 2008	28 mai 2008	Suivi de la disponibilité en eau en continu dans les parcelles	<i>Type Hortimètre T-80 Une sonde par parcelle</i>
Mise en place du dispositif à l'Île d'Orléans, des appareils de mesure pour la pluviométrie, la T° et l'HR de l'air et installation des tensiomètres et des sondes de teneur en eau	Mai 2008	30 mai 2008	Bonifier le volet principal par l'acquisition de connaissances sur un plus grand nombre de cultivars en contexte de production commerciale	<i>Dispositif constitué de 3 cultivars répétés 4 fois. Champ non irrigué Tensiomètres de type Irrrometer Sondes de type ThetaProbe</i>
Conduite des essais et collecte des données à Deschambault	Mai – sept. 2008	Mai – sept. 2008	Caractérisation du sol, mesure des prélèvements pour bilan azote sol-plante, évaluer le profil des nitrates	<i>Prélèvement de sols et de végétaux à des stades cibles de la croissance des plants, attention portée au mildiou</i>
Conduite des essais et collecte des données à l'Île d'Orléans	Mai – sept. 2008	Mai – sept. 2008	Caractérisation du sol, suivi des stades phénologiques des plants	<i>Le producteur s'occupe de la régie de culture</i>
Soumission des demandes d'analyses au laboratoire des sols	Mai – oct. 2008	Mai – oct. 2008	Analyse et traitement des données	<i>Tous les résultats reçus</i>
Récolte site Deschambault	Sept. 2008	17 sept. 2008	Comparaison entre traitements	
Récolte site Ile d'Orléans	Sept. 2008	7 oct. 2008	Comparaison au site Deschambault	<i>Contexte de production commerciale</i>
Évaluation de la qualité des tubercules et du rendement aux deux sites	Oct. 2008	Sept. – oct. 2008	Impact des conditions hydriques sur les tubercules	<i>Gale commune, rhizoctonie, densité relative, nitrates dans les tubercules</i>

Activités réalisées	Date prévue	Date réelle	Finalités	Notes
Compilation et interprétation des données	Oct. – nov. 2008	Sept. – oct. 2008	Rédaction rapport final CDAQ	
Synthèse finale avec statisticienne	Jan. 2009	Sept. – oct. 2008	Préparation d'un modèle d'analyse statistique en fonction des objectifs	<i>Synthèse des deux saisons d'études</i>
Rédaction du rapport final CDAQ	Fév. – avr. 2009	Nov. 2008	Rapport complet et résultats permettant l'atteinte des objectifs	

Activités à venir	Date prévue	Finalités	Notes
Préparation des activités de diffusion	Avril 2009	Diffusion des résultats	
Initier des projets en continuité avec celui-ci	Avril 2009	Acquisition de connaissances	

2 MATÉRIEL ET MÉTHODE

2.1 Mise en place de l'expérience

Le volet principal de ce projet, dont la durée s'échelonnait sur 2 ans, s'est déroulé à la Station de recherche de Deschambault. Des tubercules entiers (Élite 4, 1 ½ à 4 oz) du cultivar 'Goldrush', ont été plantés à 35 cm d'espacement sur le rang (densité de 30 723 plants ha⁻¹) le 14 et le 16 mai 2007 et 2008, respectivement. Le sol, de texture sable loameux, avait un pH de 6,2 et le taux de matière organique de 1,3% dans la strate supérieure (0-20 cm) s'abaissait jusqu'à 0,4% en profondeur (60-80cm). Les récoltes ont été effectuées le 25 et le 17 septembre 2007 et 2008, respectivement.

Les essais du second volet ont été conduits chez un producteur de pommes de terre situé à Ste-Famille Île d'Orléans à des sites différents en 2007 et 2008 compte tenu des rotations imposées par la régie du producteur. Les deux sites, situés à proximité, possédaient cependant une texture (51,0 et 50,8% sable, 26,2 et 26,0% limon, 23,8 et 23,2% argile) et une proportion de détritiques (33 et 34%) semblables pour 2007 et 2008, respectivement. La plantation a été effectuée le 24 mai 2007 et le 30 mai de l'année suivante. Des trois cultivars utilisés pour ce second volet, le cultivar 'Snowden' et le cultivar A ont été plantés tranchés à une densité de 28 846 plants ha⁻¹ et entiers à 48 077 plants ha⁻¹ respectivement, pour les deux années de l'étude. Quant au cultivar B, il a été substitué par la variété 'Goldrush' en 2008. Le sol, dans chaque cas un loam sablo-argileux, présentait un pH de 5,5 et 6,0 et un taux de matière organique de 3,6 et 5,3% dans la strate 0-20 cm pour les sites de 2007 et 2008, respectivement. Les pommes de terres ont été récoltées le 4 octobre la première année et le 7 l'année suivante.

2.2 Traitements

Au site expérimental de Deschambault, le dispositif comprenait un seul cultivar soumis à cinq traitements. Les quatre premiers traitements étaient irrigués par aspersion et gérés prioritairement en fonction de la tension en eau du sol. Toutefois, une seconde consigne devait être respectée pour déclencher le système d'irrigation, soit l'atteinte du stade de développement du traitement en question. L'émergence des plants, l'initiation des tubercules et la pleine floraison constituaient ces stades. Le 5^e traitement, non irrigué, servait de témoin pour tester l'impact de l'irrigation. Un second témoin, irrigué mais non fertilisé en azote, servait à calculer le coefficient d'utilisation apparent (CUA) de l'azote sous irrigation. En résumé, les cinq traitements à l'étude étaient les suivants :

- A. Témoin sans irrigation
- B. Témoin non fertilisé en azote avec irrigation
- C. Irrigation dès l'émergence des plants
- D. Irrigation dès l'initiation des tubercules
- E. Irrigation à la pleine floraison

Le suivi de la tension de l'eau dans le sol était réalisé en continu, indépendamment pour chacune des parcelles, de sorte à pouvoir irriguer ces dernières individuellement. La régie de production a été similaire à celle employée par les producteurs de pommes de terre au Québec. Les traitements

A, C, D et E ont été fertilisés ($150 \text{ kg N ha}^{-1} - 50 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1} - 220 \text{ kg K}_2\text{O ha}^{-1}$) selon les recommandations des grilles de fertilisation du CRAAQ (2003) avec une proportion de 47% de l'N apporté au fractionnement. Ce dernier a eu lieu le 28 juin et le 2 juillet en 2007 et 2008, respectivement. Le traitement B, non fertilisé en azote, a été soumis à la même fertilisation P et K que les parcelles des traitements fertilisés. Tant à la plantation qu'au fractionnement, les engrais ont été appliqués en bandes à la main.

Pour les deux années d'études, la présence de mildiou n'a pas été détectée au champ. Des traitements fongicides préventifs ont été effectués à différentes reprises durant la saison selon les observations rapportées par le Réseau d'avertissements phytosanitaires (RAP). Des dommages assez importants causés par la brûlure hâtive ont été observés en 2007 et en 2008 au début août. Aucun contrôle n'a été fait sur cette maladie. La présence de doryphores lors de la saison d'étude 2007 a été contrôlée par l'application d'insecticide foliaire à quelques reprises. Afin de diminuer la pression du ravageur en 2008, les plantons ont été traités à l'ACTARA (24 ml/100 kg de semences) lors de la plantation. Plus tard en saison, deux traitements foliaires supplémentaires ont permis d'effectuer un contrôle adéquat sur le doryphore. Pour les deux saisons d'études, les dommages causés par le ravageurs n'ont été que mineurs.

En ce qui a trait au dispositif en condition de production commerciale de l'Île d'Orléans, la plantation des trois cultivars a été précédée d'une application préventive d'insecticide ACTARA (480 ml ha^{-1}) au sol dans le sillon en 2007 et 2008. Toutes les parcelles ont été fertilisées ($120 \text{ kg N ha}^{-1} - 50 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1} - 120 \text{ kg K}_2\text{O ha}^{-1}$) selon les recommandations des grilles de fertilisation du CRAAQ (2003). Les engrais ont été appliqués en bandes, à la main. Par la suite, le fractionnement, la régie de production et de protection ont été celles du producteur. Cet essai servant de comparable ne comprenait aucun apport d'eau d'irrigation au cours des deux années d'étude.

2.3 Dispositif expérimental

Les cinq traitements à l'étude au site de Deschambault étaient assignés selon un dispositif en carré latin 5 x 5 (Figures 1 et 24). Une parcelle comportait six rangs de pommes de terre d'une longueur de 5,6 m, espacés de 0,93 m.

À l'Île d'Orléans, bien qu'il n'y avait pas de traitement en soi, les 12 unités expérimentales ont été distribuées au hasard pour former un dispositif en blocs complets aléatoires afin de contrer les effets dus à la variabilité de terrain, qui sont toujours possibles (Figures 2 et 25). Chacun des quatre blocs était composé de trois cultivars. Une parcelle était composée de quatre rangs de pommes de terre d'une longueur de 8 m, espacés entre eux de 0,91 m.

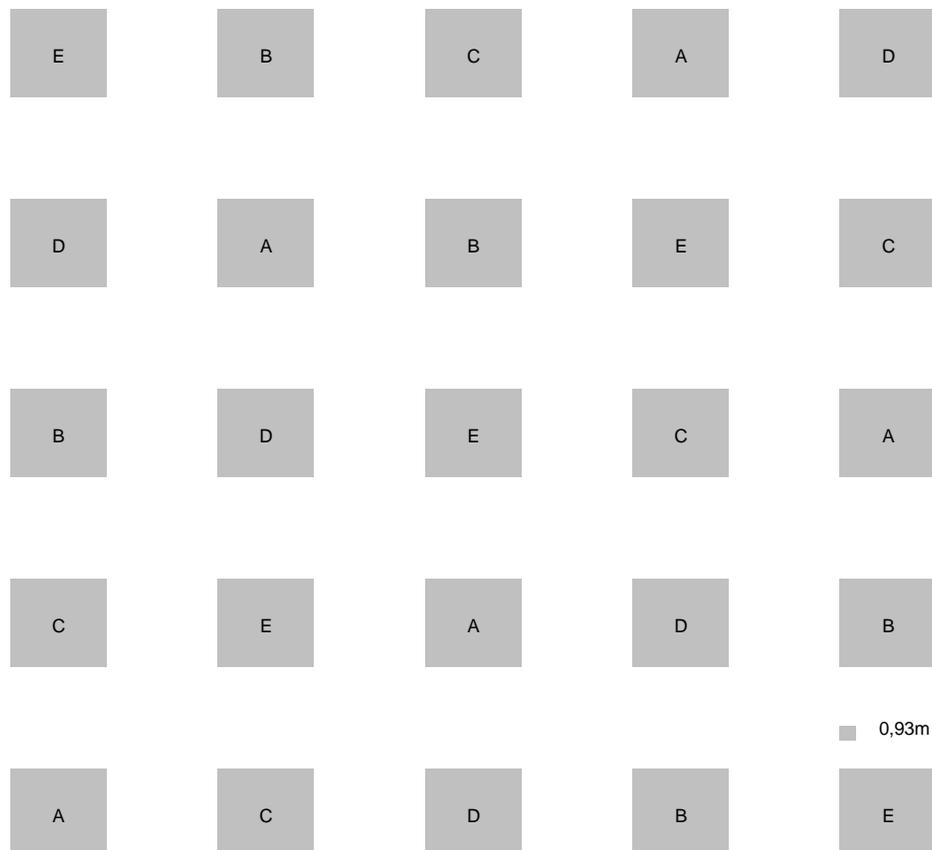


Figure 1. Dispositif expérimental pour le site de Deschambault (carré latin 5 x 5).

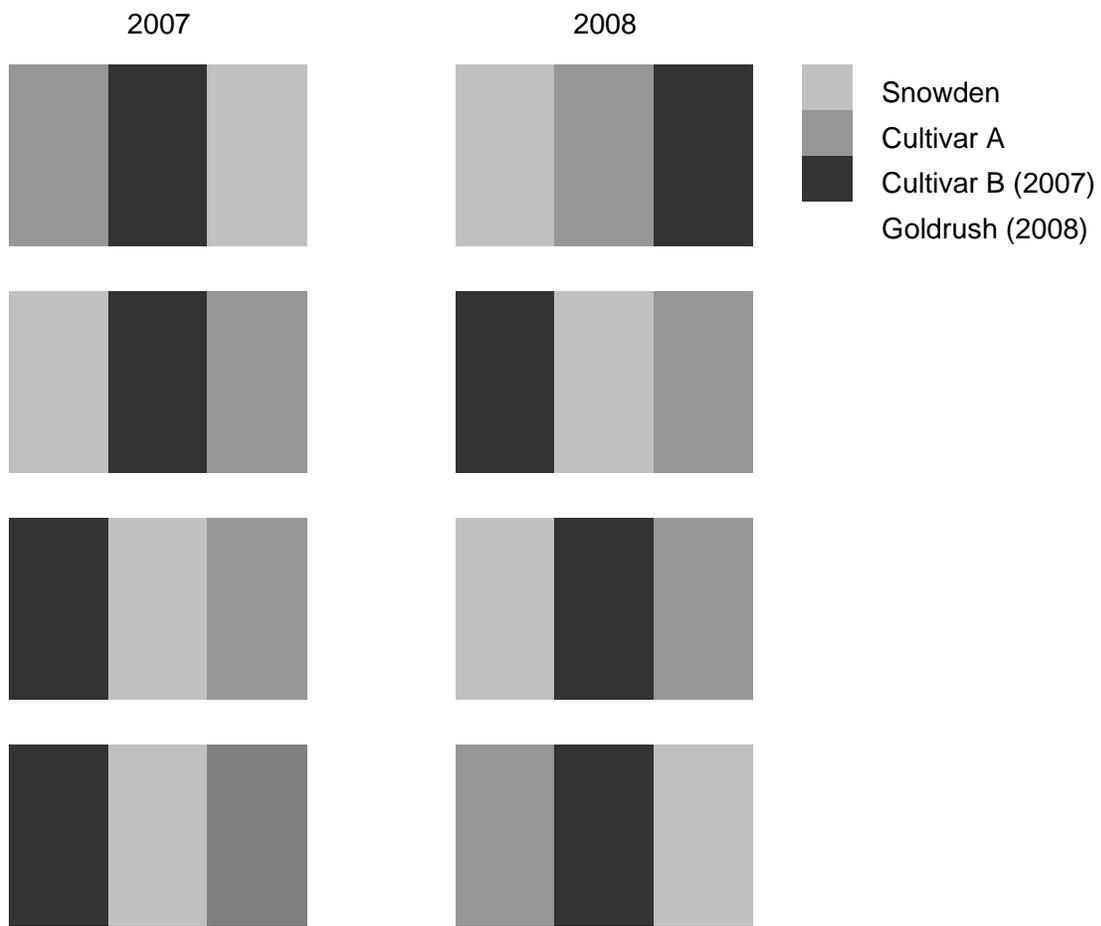


Figure 2. Disposition des cultivars pour le site de l'Île d'Orléans en 2007 et 2008.

2.4 Collecte des données

Au cours des deux années d'étude, il n'y a eu aucun changement dans les méthodes prévues de collecte des données et d'analyse des échantillons.

Des tensiomètres de type Hortimètre T-80 (Figure 26), permettant de compiler en continu des mesures de tensions, ont été installés dans la zone racinaire des plants pour mesurer la tension de l'eau dans le sol au site de Deschambault. À l'Île d'Orléans, des tensiomètres de type Irrrometer (0-100 cbar) et des sondes de teneur en eau de type ThetaProbe ont été utilisés. 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 aux deux sites durant la saison de production (Figure 27, site Deschambault).

La granulométrie, le pH, le taux de matière organique, la teneur en éléments minéraux, ainsi que les nitrates du sol ont été déterminés dans chacune des parcelles à partir d'échantillons composites (sous-échantillons : 2007, 5 ; 2008, 4) prélevés dans la strate 0-20 cm au printemps à Deschambault et à l'automne à l'Île d'Orléans. Les strates de sol 20-40, 40-60 et 60-80 cm ont aussi été échantillonnées au site de Deschambault. Leur contenu en nitrates a été analysé à cinq reprises supplémentaires durant la saison (100% émergence, initiation des tubercules, 50% à 75% floraison, récolte et post-récolte). Les échantillonnages ont été effectués à la main, dans un rayon de 2 m autour du tensiomètre, au moyen de sondes à tube creux, à l'exception de ceux à la plantation et en post-récolte, qui furent effectués à l'aide d'un échantillonneur de sol hydraulique de marque *Giddings* (figure 28).

Au site de Deschambault, la nutrition des plants a également été évaluée. Le statut nutritionnel a été évalué par le dosage de l'azote total (N_{total}) de la 4^e feuille mature aux stades d'initiation des tubercules et à 50%-75% de floraison (Rowe 1993). Aussi, en vue d'établir un bilan azote sol-plante, des plants entiers ont été prélevés avant le défanage pour déterminer leur prélèvement en N_{total} qui, additionné au prélèvement en N_{total} des tubercules (teneur en N * rendement total) permet d'établir les prélèvements totaux en N. Enfin, la comparaison des prélèvements totaux des parcelles avec apport de N à celles non fertilisées en N, a permis de calculer le coefficient d'utilisation apparente (CUA) de l'azote des engrais. Les CUA ont été déterminés selon la méthode au champ décrite par N'Dayegamiye, Huard et Thibault (2001) et calculés comme suit:

$$\text{CAU engrais minéral (\%)} = \frac{\text{Prélèvement N plants fertilisés} - \text{Prélèvement N plants sol témoin}}{\text{Dose d'N engrais minéral}} \times 100$$

Enfin, aux deux sites, les rendements totaux et vendables ont été mesurés à partir des tubercules récoltés sur 4 m dans les 2 rangs centraux de chaque parcelle. Ensuite, les tubercules ont été classés par catégorie afin d'en évaluer la qualité et leur densité relative. De plus, pour le site de Deschambault, les contenus en nitrates et en éléments majeurs et mineurs des tubercules récoltés ont été déterminés.

2.5 Analyse des données

Des changements importants sont survenus dans le cadre de l'analyse des données générées par le projet puisque les apports naturels d'eau qui ont eu cours durant les deux années d'étude n'ont pas permis d'appliquer les traitements d'irrigation prévus. Cette contrainte majeure, hors de notre contrôle, a demandé une réorganisation dans la façon de considérer les résultats obtenus qui demeurent cependant tout aussi valables et méritent une analyse consciencieuse. Ainsi, des ajustements ont été apportés au traitement statistique des données. Puisque les pluies abondantes des deux années ont fait en sorte qu'aucun traitement d'irrigation n'a été nécessaire, seules les parcelles assignées au traitement B, non fertilisé en azote, ont subi un traitement différent des autres parcelles, fertilisées. Le plan en carré latin décrit à la section précédente (2.3) a tout de même été conservé dans le modèle d'analyse qui restait applicable au jeu de données. En se conformant à cette structure (carré latin), un effet significatif de traitement détecté devient attribuable au traitement B.

Les données ont été analysées à l'aide de la procédure proc mixed de SAS. Les degrés de liberté au dénominateur ont été calculés au moyen de l'approximation de Satterthwaite. La présence de données aberrantes a été vérifiée au moyen des analyses de résidus. En raison du nombre élevé de tests lors des comparaisons par contrastes, un ajustement par la méthode « simulate » a été appliqué à la valeur de P afin d'éviter les erreurs de type I, c'est-à-dire de déclarer à tort des différences significatives (Westfall et coll. 1999). Le contraste le plus parlant étant B (non fertilisé) vs A-C-D-E (fertilisé), une grande partie des résultats est exprimée sous cette forme i.e., la valeur de B vs la valeur moyenne de A-C-D-E.

3 RÉSULTATS ET ANALYSE

3.1 Résultats obtenus selon les objectifs spécifiques

3.1.1 Mesurer l'impact du mode de pilotage de l'irrigation par tensiométrie sur le développement de la culture et le rendement commercialisable.

3.1.1.1 Stades phénologiques

Les stades phénologiques de la culture pour les deux années du projet sont présentés à la figure suivante. En 2007, l'émergence des plants a eu lieu le 11 juin, soit 28 jours après la date de plantation (JAP) effectuée le 14 mai. L'initiation des tubercules a été observée le 21 juin et la floraison le 12 juillet. L'année suivante, la plantation a été effectuée le 16 mai et l'émergence des plants a été observée 24 jours plus tard, soit le 9 juin. La période entre l'émergence et l'initiation des tubercules ainsi que celle entre l'initiation des tubercules et le dernier stade phénologique a été un peu plus longue la 2^e année. Il s'est écoulé 6 jours de plus entre le 2^e et le 3^e stade et 4 jours de plus entre le 3^e et le 4^e stade. Ainsi, en 2008, l'initiation des tubercules et la floraison ont respectivement été observées le 25 juin et le 20 juillet.

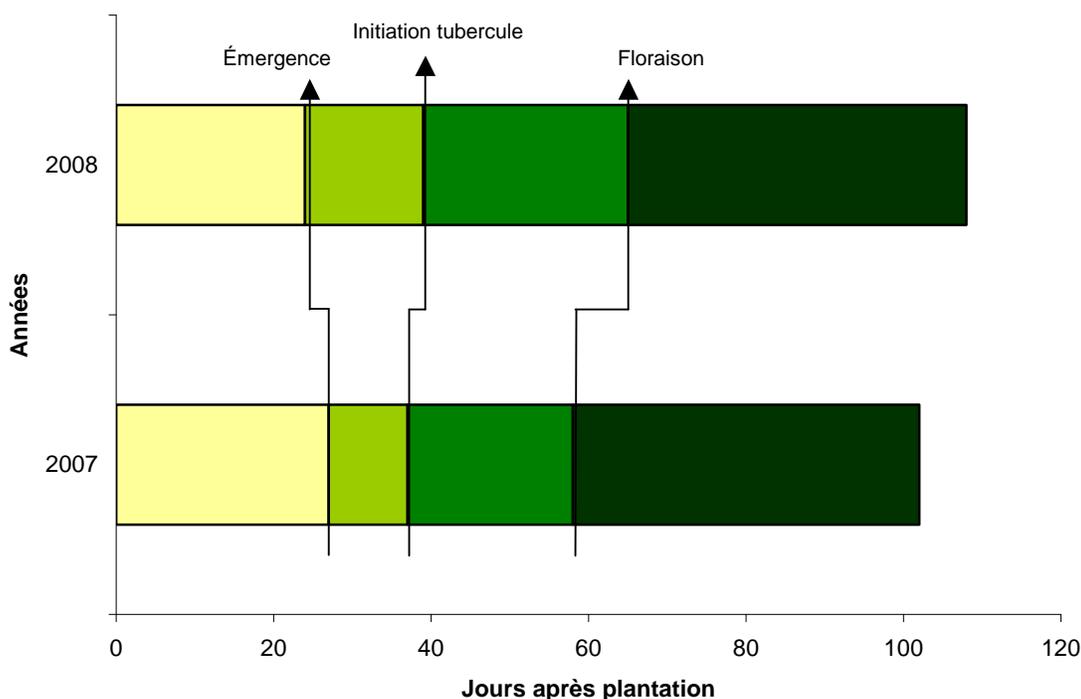


Figure 3. Progression dans le temps des trois stades phénologiques retenus pour les différents traitements d'irrigation selon le nombre de jours qui les séparent de la date de plantation pour les deux années du projet au site de Deschambault.

3.1.1.2 Rendements en tubercules

Les rendements vendables, non vendables et totaux pour les deux années du projet, représentés par les barres vert pâle, vert foncé et l'addition des deux segments, respectivement, sont présentés aux figures 4 et 5. Il est d'abord important de noter que le rendement en tubercules du traitement B, non fertilisé en azote, a été beaucoup plus bas que celui des autres traitements. Ceci était un pré-requis indispensable puisque les études portant sur l'efficacité fertilisante des engrais doivent être exécutées sur des sols où la réponse de la culture pourra s'exprimer. En ce qui a trait aux quatre autres traitements¹, les rendements vendables mesurés dans ces derniers ont été regroupés de sorte à identifier un rendement moyen, identifié aux figures 4 et 5 à l'aide d'une ligne verticale. Ce regroupement était possible puisqu'en absence d'apport d'eau, la pluviométrie ayant maintenu la tension de l'eau dans le sol à une valeur inférieure aux 25 kPa nécessaires pour déclencher une irrigation (Figures 6 et 7), ces quatre traitements n'en forment qu'un seul. Ainsi, le rendement moyen en tubercules vendables² en 2007 était de 30,7 T ha⁻¹, alors qu'il est de 21,8 T ha⁻¹ en 2008. Le taux de tubercules rejetés³ atteint 12 % en 2007 et 21 % en 2008. Les conditions hydriques du sol qui ont prévalu sont un facteur explicatif important dans la diminution de rendement observée en 2008, tant par les conditions anaérobiques improductives créées dans la couche utile de sol, que par les pertes occasionnées d'une partie des engrais azotés (voir section 3.1.4).

¹ **A** : Témoin sans irrigation, **C** : Émergence, **D** : Initiation des tubercules, **E** : Floraison

² Tubercules vendables : Diamètre compris entre 47- 76 mm (Moyenne) et 77 -117 mm (Grosse).

³ Tubercules non vendables : Diamètre inférieur à 47 mm et supérieur à 117 mm.

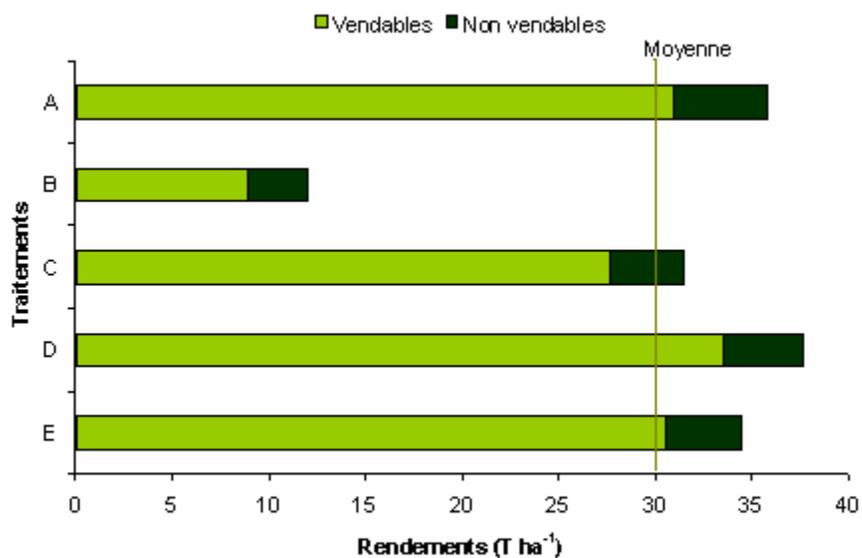


Figure 4. Rendements vendables, non vendables et totaux mesurés dans les cinq traitements pour le site de Deschambault en 2007 et moyenne des rendements vendables A-C-D-E (ligne verticale).

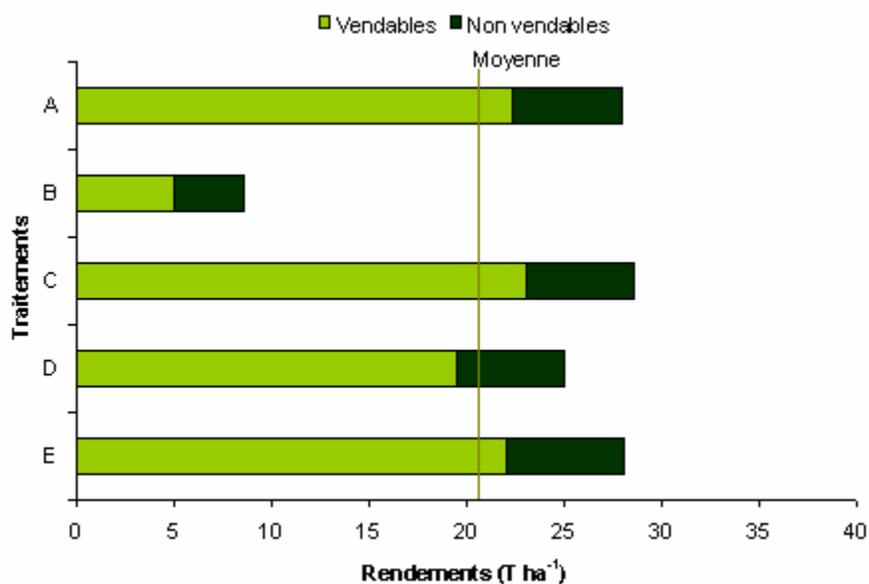


Figure 5. Rendements vendables, non vendables et totaux mesurés dans les cinq traitements pour le site de Deschambault en 2008 et moyenne des rendements vendables A-C-D-E (ligne verticale).

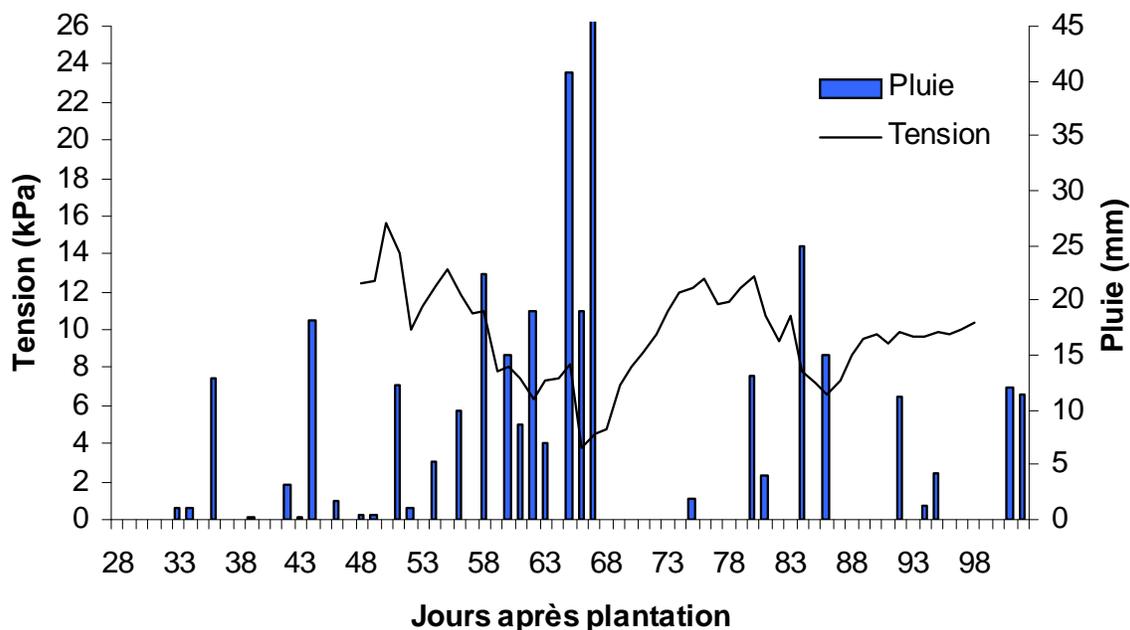


Figure 6. Tension moyenne de l'eau dans le sol des 25 parcelles au site de Deschambault et pluviométrie mesurée dès l'émergence des plants le 11 juin 2007, soit 28 jours après la plantation.

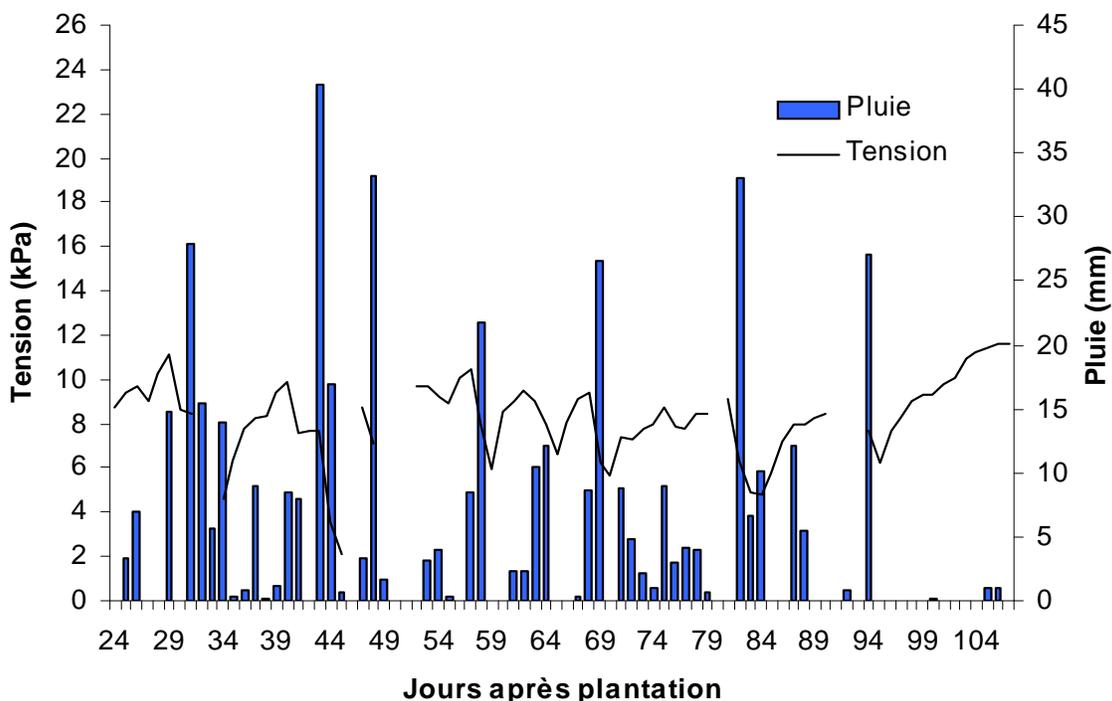


Figure 7. Tension moyenne de l'eau dans le sol des 25 parcelles au site de Deschambault et pluviométrie mesurée dès l'émergence des plants le 9 juin 2008, soit 24 jours après la plantation.

3.1.1.3 Relation entre le statut hydrique du sol et le rendement en tubercules observé.

Tel que mentionné précédemment, les rendements en tubercules pour la saison 2008 ont été beaucoup plus faibles que ceux mesurés en 2007. Pour expliquer en partie cette baisse de rendement, le statut hydrique du sol (tension) a été mis en relation avec les rendements en tubercules mesurés à l'aide du coefficient de régression R^2 . Ce dernier, qui peut être exprimé en pourcentage⁴, mesure l'ordre de grandeur de la relation entre deux variables. Plus ce coefficient est élevé, plus la variation d'un facteur explique la variation d'un second facteur, dans ce cas-ci le statut hydrique du sol et les rendements en tubercules à la récolte. Pour ce faire, les parcelles témoins sans fertilisation azotée ont d'abord été exclues de l'analyse puisque leur faible rendement n'est pas dû principalement aux variations de tension hydrique du sol mais au manque d'azote. La moyenne journalière de la tension de l'eau dans le sol a donc été calculée dans chacune des 20 autres parcelles. Ces moyennes journalières, spécifiques à chacune des parcelles, ont été mises en relation avec le rendement mesuré respectivement dans chacune des parcelles à la récolte. Ainsi, pour chacune des journées où les valeurs de tension de l'eau dans le sol étaient disponibles, la relation entre celles-ci et les rendements en tubercules vendables et de calibre moyen est présentée aux figures 8, 9, 10 et 11 pour les deux années du projet. Dans ces graphiques, chacun des points représentant le R^2 d'une journée précise est donc calculé sur la base de 20 données, ce qui renforce la validité du résultat.

Premier constat, lors d'année favorable, comme en 2007, où les rendements étaient excellents, les R^2 calculés sont bas, inférieurs à 0,10 tout au long de la saison (Figures 8 et 10), confirmant que les conditions hydriques du sol n'ont pas été un facteur limitant durant la saison. Par contre, la présence en 2008 de conditions limitatives a permis de faire ressortir des relations entre les tensions et le rendement. De plus, étant donné que ces périodes limitatives sont réparties tout au long de la saison, cela a permis de vérifier si leur présence durant certains stades phénologiques avait plus d'impact sur le rendement qu'à d'autres stades. Ainsi, de hauts coefficients de régression (R^2) ont pu être observés en 2008 et ces derniers étaient concentrés à partir de la période débutant à la floraison des plants de pommes de terre (Figures 9 et 11). Cette période relativement ciblée est d'autant plus intéressante qu'en plus de présenter des R^2 élevés, elle contient 25 % des points de mesures.

En résumé, puisqu'en 2008 les conditions hydriques du sol étaient comparables pour l'ensemble de la saison (Figure 7), cela permet de formuler l'hypothèse suivante, à savoir qu'un stress hydrique, consécutif à des conditions trop humides, a un impact plus grand sur les rendements finaux s'il survient à partir de la floraison que lors des autres stades.

⁴ Il faut extraire la racine carrée du coefficient R^2 pour obtenir la correspondance en pourcentage. Par exemple, un R^2 de 0,20 équivaut à 45 %.

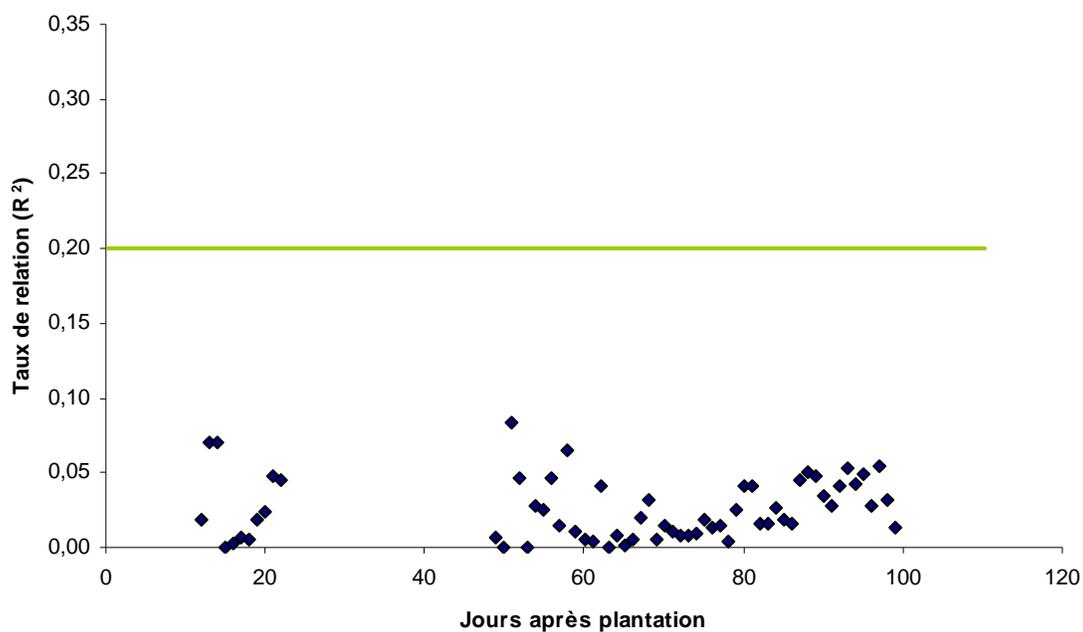


Figure 8. Progression dans le temps du taux de relation entre la tension de l'eau dans le sol et le rendement en tubercules vendables mesuré au site de Deschambault en 2007.

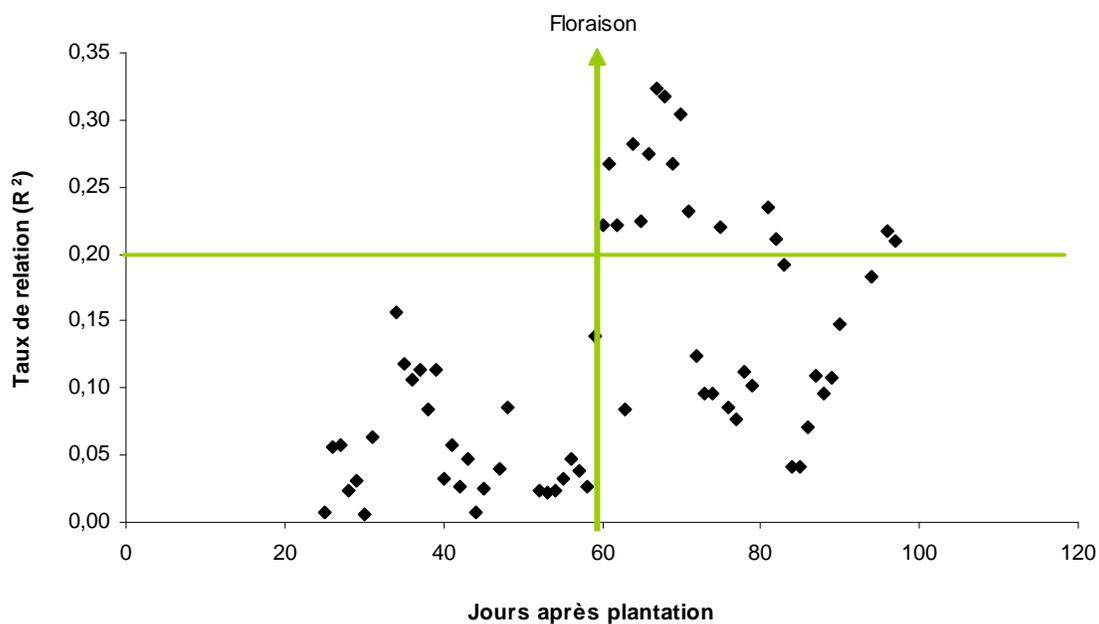


Figure 9. Progression dans le temps du taux de relation entre la tension de l'eau dans le sol et le rendement en tubercules vendables mesuré au site de Deschambault en 2008.

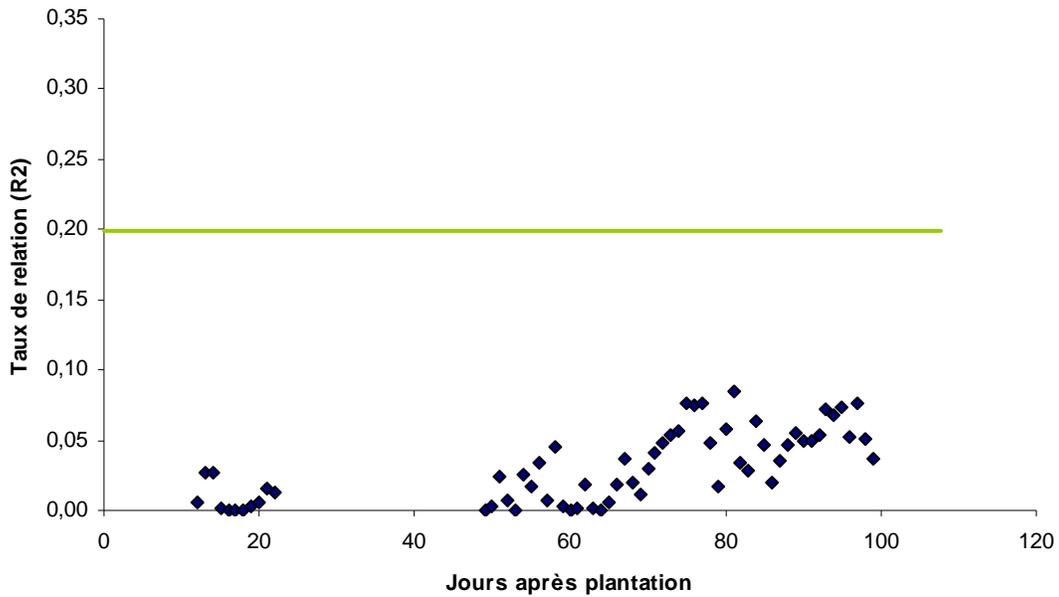


Figure 10. Progression dans le temps du taux de relation entre la tension de l'eau dans le sol et le rendement en tubercules de calibre moyen mesuré au site de Deschambault en 2007.

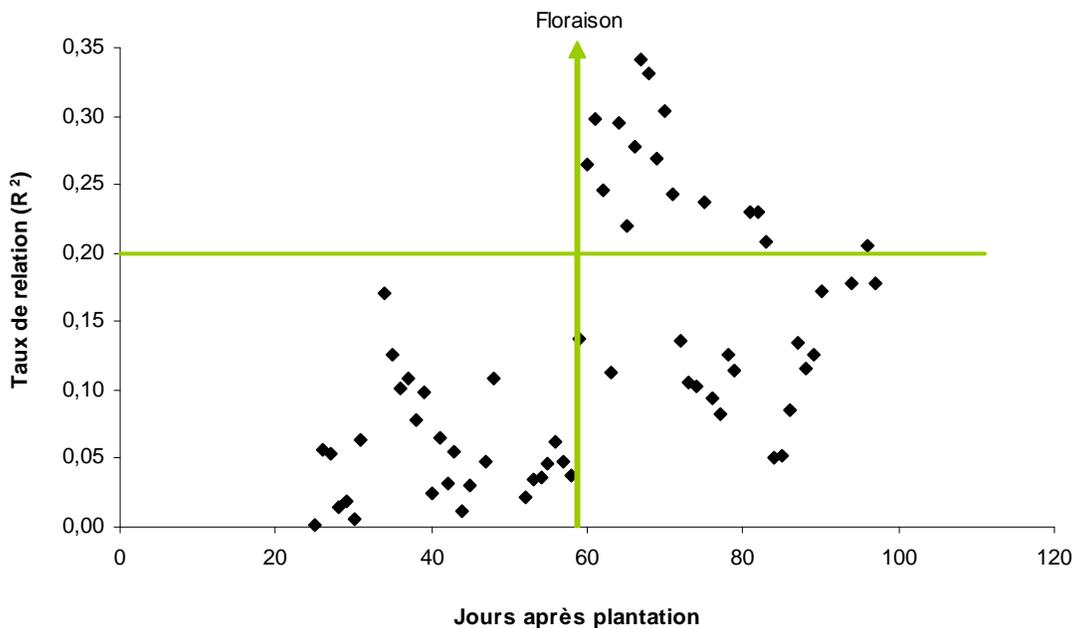


Figure 11. Progression dans le temps du taux de relation entre la tension de l'eau dans le sol et le rendement en tubercules de calibre moyen mesuré au site de Deschambault en 2008.

3.1.2 Suivre l'impact des conditions hydriques au champ sur le développement et la qualité des tubercules selon le cultivar en contexte de production commerciale.

L'objectif principal du dispositif expérimental implanté à l'Île d'Orléans était d'élargir la portée du projet par l'acquisition d'information sur un plus grand nombre de cultivars. Ainsi, le rendement en tubercules et la qualité de ces derniers devaient être comparés sur la base des deux années de résultats. Toutefois, il s'est avéré impossible de répéter l'expérience en 2008 avec le cultivar identifié par la lettre B (Figure 12). Ce dernier a été remplacé par le cultivar 'Goldrush' (Figure 13). Conséquemment, l'analyse des résultats portera principalement sur le cultivar 'Snowden' et celui identifié par la lettre A.

En ce qui a trait au rendement en tubercules vendables⁵ du cultivar 'Snowden' pour 2007, il atteint $34,7 \text{ T ha}^{-1}$ et la proportion de tubercules rejetés⁶ est de 9 %. L'année suivante, les rendements en tubercules vendables chutent de $7,8 \text{ T ha}^{-1}$ et le taux de rejet double pour atteindre 18 %, lorsque comparé aux rendements de l'année précédente. La baisse de rendement s'observe aussi en 2008 avec le cultivar 'A'. Le rendement en tubercules vendables de ce dernier est passé de $48,0 \text{ T ha}^{-1}$ en 2007 à $32,3 \text{ T ha}^{-1}$ en 2008 avec des rejets de 8 % la première année et de 14 % la seconde.

La saison 2007 a généralement été favorable au secteur de la production de la pomme de terre au Québec. En effet, l'année dernière, un rendement moyen de $32,5 \text{ T ha}^{-1}$ a été mesuré pour la province de Québec, comparativement à $29,1 \text{ T ha}^{-1}$ en 2006 et $25,5 \text{ T ha}^{-1}$ en 2005 (Statistique Canada, 2008). Différents facteurs interviennent sur la productivité, mais pour les sites non irrigués, la pluviométrie en est un très important. Les apports d'eau par la pluie ont été réguliers en 2007 et ont probablement été un facteur favorable aux rendements mesurés (Figure 14).

En 2008, il est tombé 114 mm de pluie au mois de juin, mois pour lequel on ne compte que 7 jours sans précipitation (Figure 15). Ces conditions ont été favorables au lessivage des nitrates, d'autant plus que le sol utilisé à l'Île d'Orléans se draine très rapidement. En effet, ce dernier contient en moyenne 34 % de détrit⁷. De plus, pour la période comprise entre le 8 août et le 9 septembre, soit durant le grossissement des tubercules, les apports d'eau par la pluie ont été considérablement réduits. En effet, durant cette période de 32 jours, seulement 23 mm d'eau sont tombés.

⁵ Tubercules vendables : Diamètre compris entre 47- 76 mm (Moyenne) et 77 -117 mm (Grosse).

⁶ Tubercules non vendables : Diamètre inférieur à 47 mm et supérieur à 117 mm.

⁷ Particules supérieures à 2 mm de diamètre récupérées lors de la détermination de la classe texturale du sol en laboratoire.

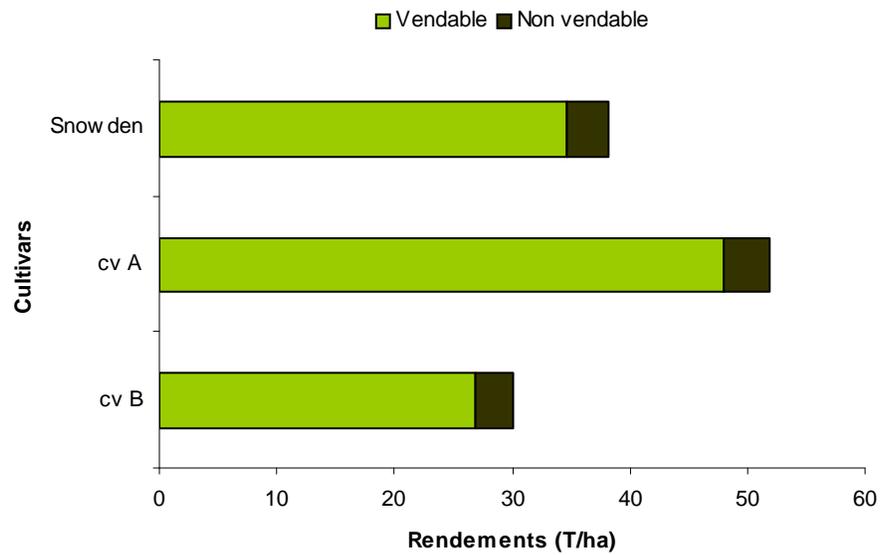


Figure 12. Rendements vendables, non vendables et totaux mesurés des trois cultivars pour le dispositif à l’Ile d’Orléans en 2007.

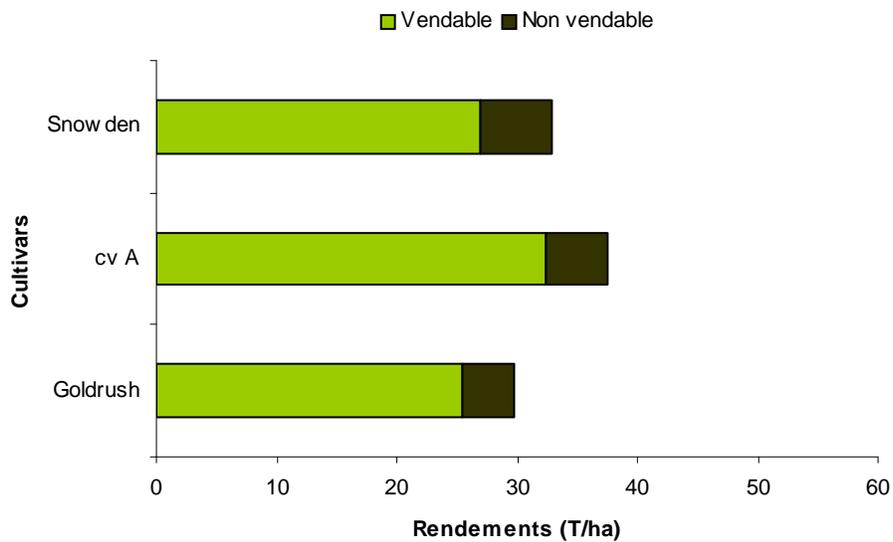


Figure 13. Rendements vendables, non vendables et totaux mesurés des trois cultivars pour le dispositif à l’Ile d’Orléans en 2008.

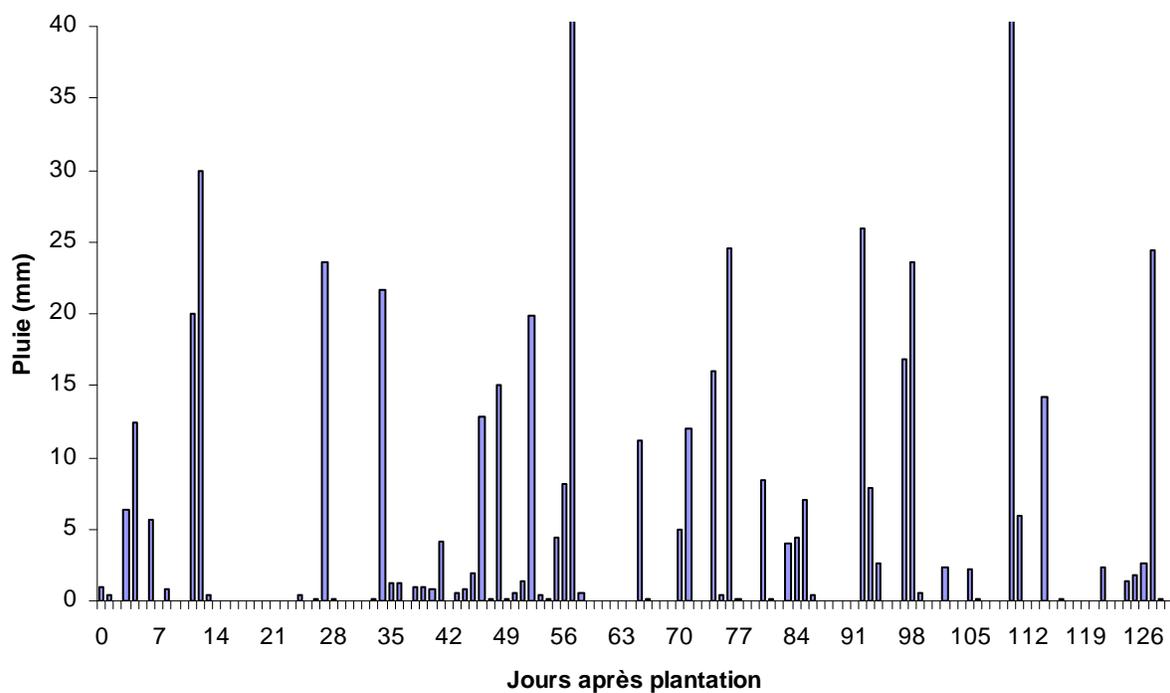


Figure 14. Pluviométrie mesurée dès l’implantation du dispositif à l’Ile d’Orléans le 24 mai jusqu’au 30 septembre 2007.

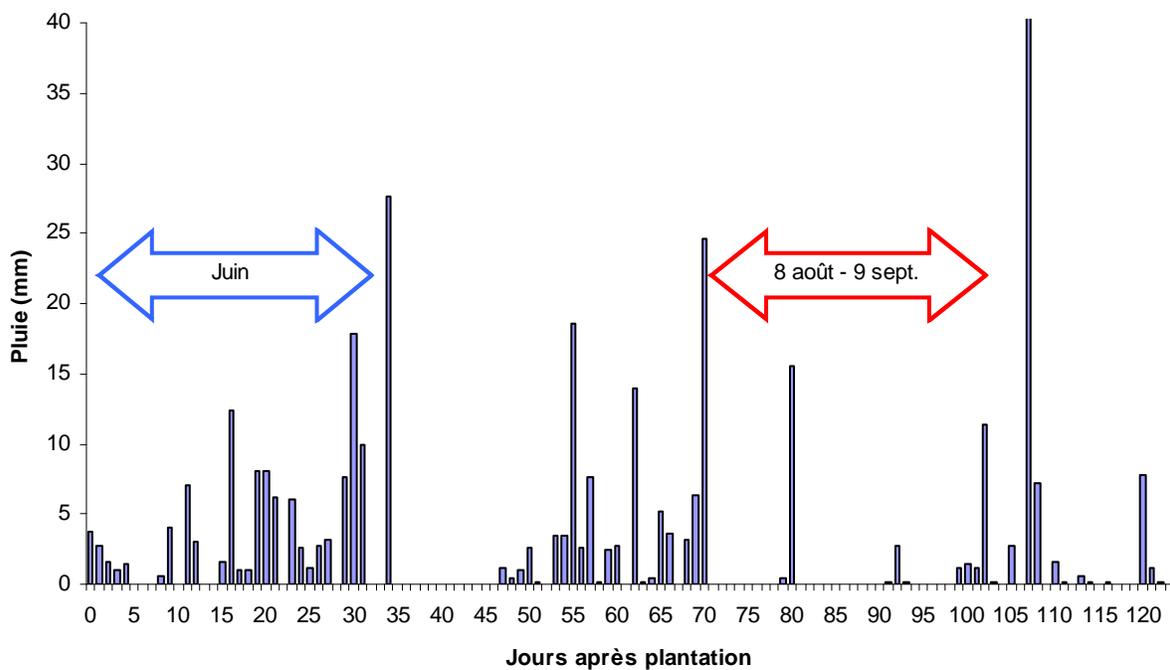


Figure 15. Pluviométrie mesurée dès l’implantation du dispositif à l’Ile d’Orléans le 30 mai jusqu’au 30 septembre 2008.

3.1.3 Étudier l'impact possible des différents régimes hydriques sur la qualité des tubercules (densité relative, nitrates), incluant le contrôle des maladies fongiques majeures telles le mildiou, la rhizoctonie et la gale.

L'indice de gale et de rhizoctonie ainsi que la densité relative des tubercules ont été mesurés à la récolte de 2007 et de 2008. Comme l'indice de gale était très faible, tout comme l'incidence du mildiou, ces derniers ne seront pas davantage traités. L'analyse des résultats ayant trait à l'indice de rhizoctonie et à la densité relative des tubercules a été effectuée en ayant recours à la même méthode que celle utilisée pour les rendements, au point 3.1.1.3. Conséquemment, le coefficient de détermination R^2 entre ces variables et la tension de l'eau dans le sol a été calculé. Tout d'abord, il est intéressant de mentionner que l'indice de rhizoctonie évalué sur les tubercules confirme ce qui est indiqué dans la littérature, à savoir qu'un sol humide est favorable à une incidence plus élevée de la maladie.

Les moyennes journalières de la tension de l'eau dans le sol spécifique à chacune des parcelles utilisées précédemment au point 3.1.1.3 sont à nouveau mises en relation, mais cette fois avec l'indice de rhizoctonie mesuré sur les tubercules récoltés dans les parcelles correspondantes. Contrairement à ce qui a été observé pour les rendements, il n'y a pas de lien évident entre l'indice de rhizoctonie et un stade de développement précis du plant de pomme de terre. En effet, même si les coefficients confirment la relation entre des conditions de sol humides et une incidence plus élevée de la maladie, tant pour 2007 que pour 2008, les coefficients sont également répartis tout au long de la saison (Figures 16 et 17).

Quoique plutôt faible, il semble y avoir aussi une relation entre des conditions de sol humides et une densité relative des tubercules plus faible durant la période de développement comprise entre l'émergence et l'initiation des tubercules (Figure 18).

Enfin, le dosage des nitrates dans les tubercules ne démontre aucune différence significative entre les traitements. Les concentrations sont les mêmes en présence ou non de fertilisation azotée. Pour les deux années, ces concentrations sont aussi sous la valeur nutritionnelle guide suggérée de 100 mg kg^{-1} (Figure 19).

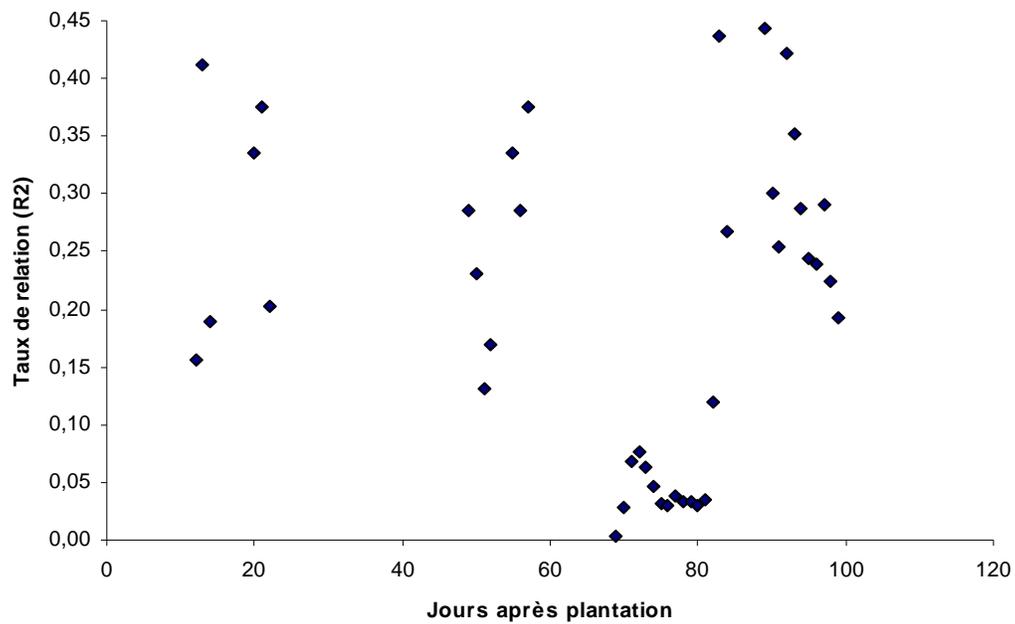


Figure 16. Progression dans le temps du taux de relation entre la tension de l'eau dans le sol et l'indice de rhizoctonie évalué sur les tubercules vendables récoltés au site de Deschambault en 2007.

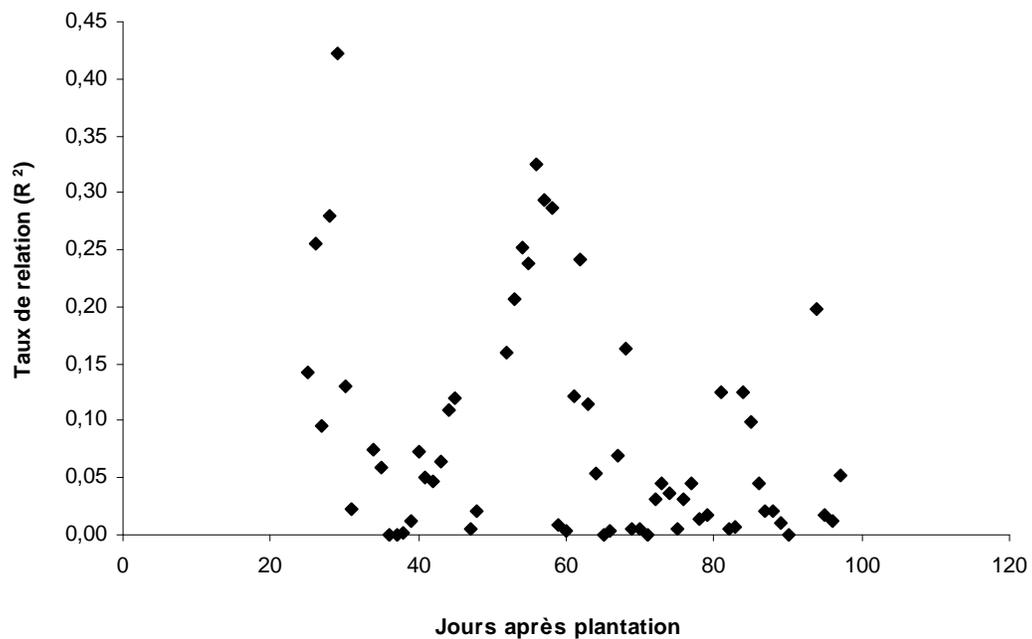


Figure 17. Progression dans le temps du taux de relation entre la tension de l'eau dans le sol et l'indice de rhizoctonie évalué sur les tubercules vendables récoltés au site de Deschambault en 2008.

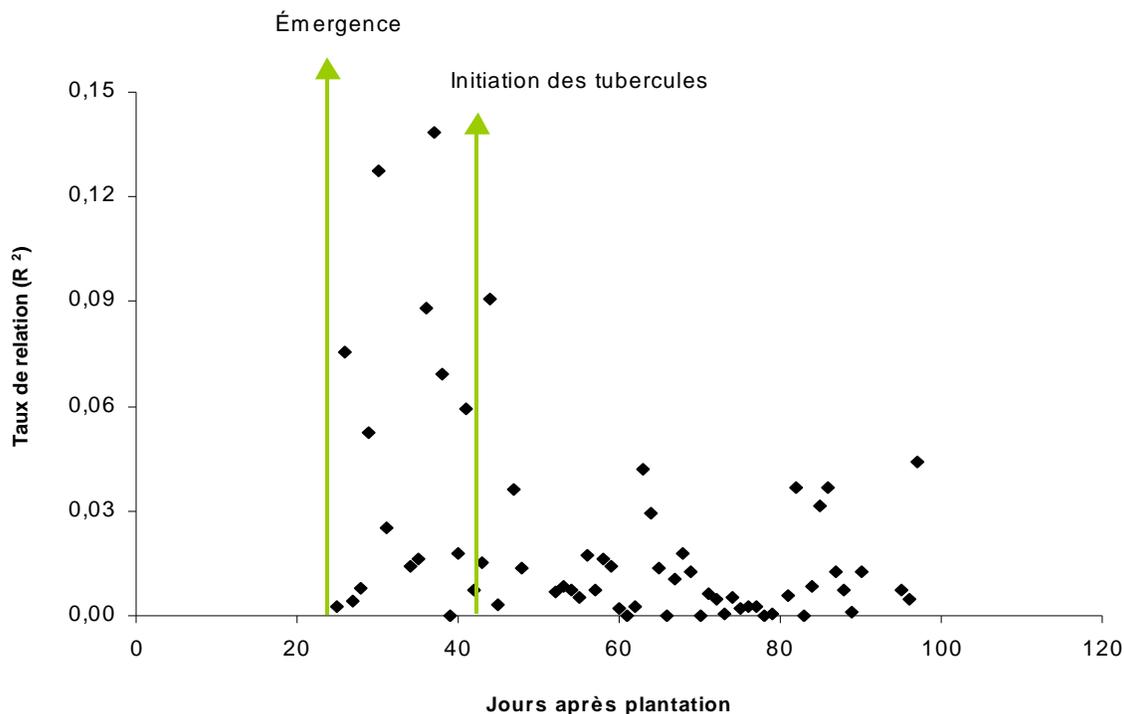


Figure 18. Progression dans le temps du taux de relation entre la tension de l'eau dans le sol et la densité relative des tubercules vendables récoltés au site de Deschambault en 2008.

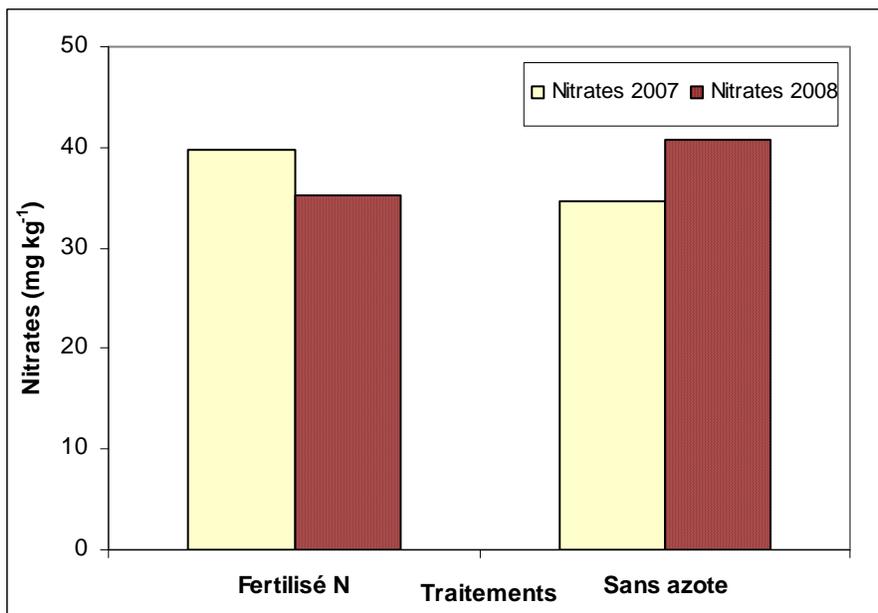


Figure 19. Concentration en nitrates des tubercules récoltés au site de Deschambault en 2007 et 2008.

3.1.4 Mesurer l'impact des différents modes de pilotage de l'irrigation par aspersion sur les pertes d'azote vers l'environnement par le lessivage des nitrates.

Bien qu'il soit impossible de déterminer l'impact des différents modes de pilotage de l'irrigation par aspersion sur les pertes en nitrates par le lessivage dues aux conditions climatiques qui ont eu cours durant les deux années d'étude, l'analyse des résultats de lessivage s'est avérée tout de même très intéressante au niveau de la régie de fertilisation N de la pomme de terre. En effet, il demeure possible de faire un parallèle entre les conditions hydriques défavorables de la deuxième saison (2008), obtenues naturellement, et ce qui serait provoqué par le maintien d'une irrigation dépassant la capacité de rétention en eau du sol pour la profondeur considérée et les besoins en eau de la culture.

La figure 20 démontre bien le bénéfice pour la culture de l'apport de N minéral par la fertilisation lorsque les conditions hydriques du sol sont favorables. À la plantation, avant fertilisation, et pour les deux années d'étude, le sol des parcelles témoins et de celles qui seront fertilisées présente la même teneur en nitrates (NO_3) (Figure 20 A). Un mois plus tard (Figure 20 B), la dynamique des NO_3 de l'été 2007 révèle que l'apport d'engrais N à la plantation a fortement augmenté les concentrations en NO_3 dans la couche utile de sol (0-20 cm), où les jeunes racines puisent leurs nutriments. La concentration en NO_3 dans le sol fertilisé y est 5 fois plus élevée ($P = 0,0612$) que dans le sol témoin, non fertilisé. Par contre, en 2008, les concentrations en NO_3 de cette strate de sol ne sont pas significativement différentes suivant ou non une fertilisation. De plus, les valeurs mesurées sont environ quatre fois moindres que celles de 2007. Cette différence de concentrations en NO_3 peut s'expliquer en partie par une plus grande perte des NO_3 par migration vers les couches inférieures en 2008. Deux semaines plus tard, fin juin (Figure 20 C), un important front de NO_3 s'observe effectivement en 2008 ($P = 0,0044$), plus en profondeur, dans la strate 20-40 cm, tandis que la disponibilité en surface a diminué de moitié par rapport au dosage précédent (Figure 20 B). Les pluies enregistrées pour cette période appuient cette hypothèse puisqu'il est tombé 105,6 mm d'eau entre la mi et la fin juin en 2008, comparativement à 18,2 mm en 2007 pour la même période. Toujours en 2008, suivant le fractionnement et le renchauffage, le lessivage des NO_3 se poursuit avec la migration du front de NO_3 dans la strate 40-60 cm (Figure 20 D). La teneur en NO_3 y est même 1,5 fois plus élevée que dans la couche 0-20 cm même si de l'azote minéral a été ajouté dans la même période. Par contre, en 2007, les concentrations en NO_3 dans la couche utile du sol fertilisé sont encore trois fois plus grandes dans le sol témoin ($P = 0,0221$), avec une diminution marquée des teneurs en NO_3 en descendant dans le profil de sol. Il est à noter que les pluies tombées durant la période précédant l'échantillonnage ont encore une fois été beaucoup plus importantes en 2008 (161,5 mm) qu'en 2007 (71,6 mm).

À la récolte (Figure 20 E), un front de lessivage peut être observé en 2007 dans la couche 20-40 cm. Cependant, il est relativement petit comparativement aux valeurs de disponibilité beaucoup plus grande mesurées au cours de la saison dans la couche 0-20 cm. En 2008, des valeurs près de deux fois plus grandes en NO_3 dans les sols fertilisés ($P = 0,0204$) comparativement au sol témoin sont encore présentes dans la couche 40-60 cm. Les teneurs en NO_3 dans les strates 20-40 et 40-60 cm y sont cependant moindres que durant la période précédente (Figure 20 D), probablement dû à un lessivage soutenu occasionné par les 197,3 mm de pluie tombés entre les deux échantillonnages comparativement à 34,2 mm en 2007. Enfin, à la fin octobre, la

disponibilité en NO_3 du sol fertilisé dans les strates 0-20 et 20-40 cm est encore de 30% ($P = 0,0171$) et 43% ($P = 0,0150$) supérieure, respectivement, à celle du sol témoin en 2007. Par contre, en 2008, les teneurs sont similaires indépendamment de la fertilisation, sur tout le profil de sol.

En résumé, le maintien de conditions hydriques favorables a permis de conserver plus de NO_3 dans la strate utile de sol, où la culture puise l'azote dont elle a besoin, tandis qu'un apport d'eau inadéquat a entraîné une perte d'une partie des fertilisants par lessivage des nitrates au travers du profil de sol.

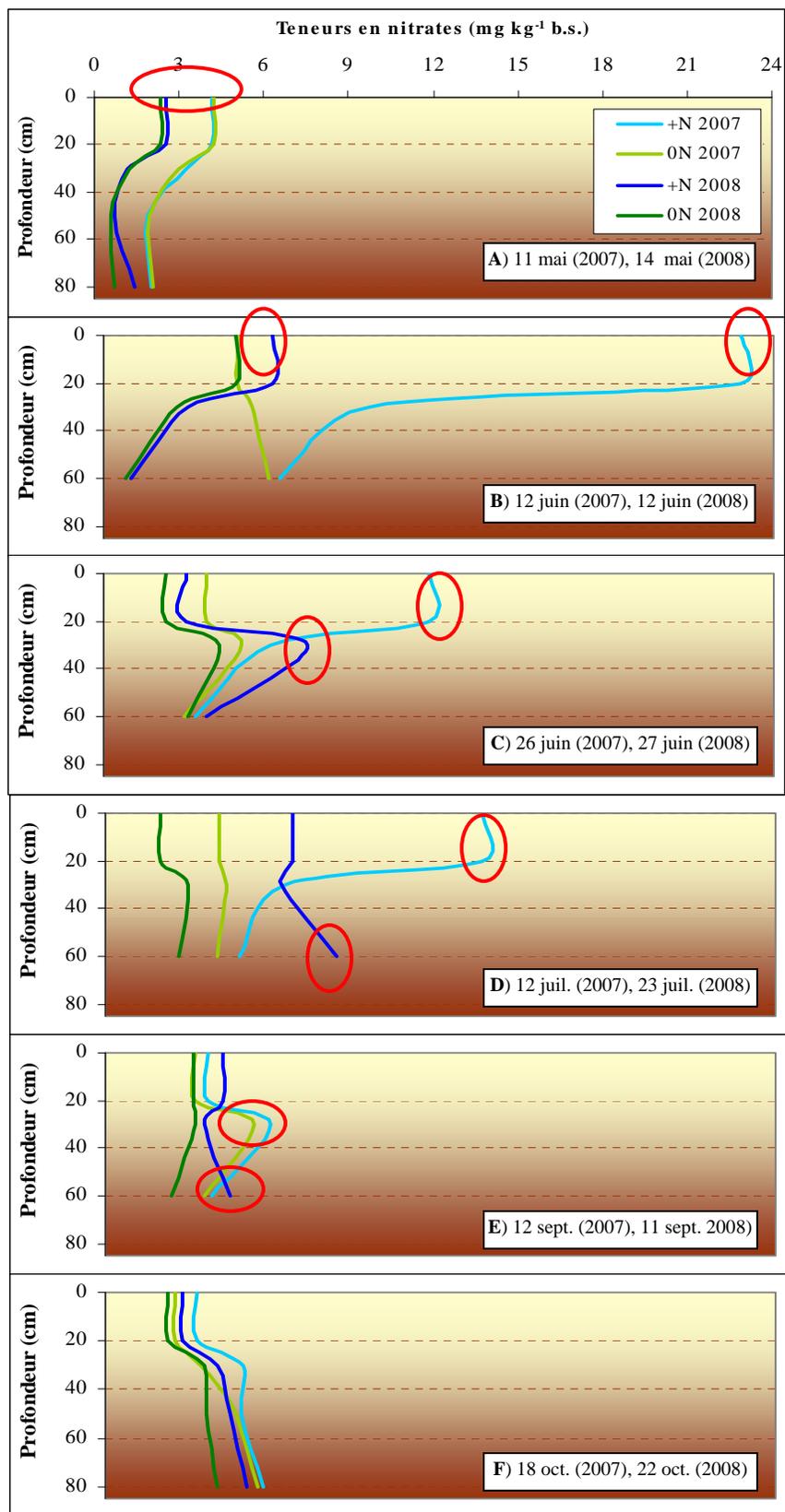


Figure 20. Dynamique des nitrates au travers du profil de sol au cours des saisons 2007 et 2008.

3.1.5 Établir le bilan d'utilisation de l'azote dans la culture de la pomme de terre irriguée.

Les mesures de prélèvements en azote des plants et le calcul du coefficient d'utilisation apparente (CUA) de l'azote des fertilisants viennent appuyer l'hypothèse que les conditions hydriques défavorables de 2008 ont effectivement entraîné une faible utilisation du N de l'engrais. Bien qu'au cours des deux années les plants fertilisés présentent un meilleur statut nutritionnel, la différence entre les plants témoins et fertilisés est plus grande en 2007 qu'en 2008. Ainsi, en 2007, les contenus en N_{total} de la 4^e feuille mature des plants fertilisés étaient 62% ($P < 0,0001$) et 47% ($P < 0,0001$) plus élevés que ceux des plants témoins aux stades initiation des tubercules et pleine floraison, respectivement (Figure 21). En 2008, ces différences étaient respectivement de 42% et 32%. Cependant, pendant les deux années d'étude, les concentrations en N mesurées indiquaient un statut nutritionnel adéquat pour les plants fertilisés, contrairement aux plants témoins, dont les teneurs azotées se retrouvaient en zone marginale (Rowe 1993).

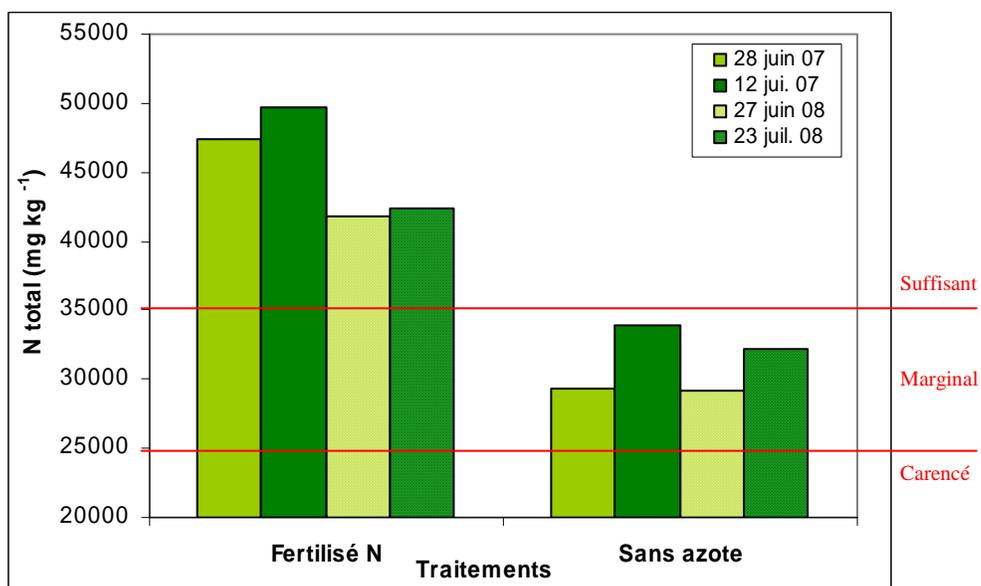


Figure 21. Concentration en azote de la 4^e feuille mature des plants de pomme de terre aux stades initiation des tubercules (juin) et pleine floraison (juillet) au site de Deschambault en 2007 et 2008.

En lien direct avec leur meilleur statut nutritionnel, les fanes des plants de pommes de terre fertilisées ont prélevé 3 fois plus d'azote que les fanes des traitements non fertilisés en azote ($P < 0,0001$) et ce, pendant les deux années (Figure 22). Cependant, les prélèvements en N des fanes de 2008 ne représentent que 60% de ceux de 2007, autant pour les traitements fertilisés que non-fertilisés. De même, les prélèvements en N des tubercules des plants fertilisés ont été 3,7 fois plus élevés que ceux des plants non fertilisés ($P < 0,0001$), pendant les deux années, avec des prélèvements moindres en 2008 qu'en 2007, indépendamment de la fertilisation (Figure 22). À la récolte, la chair des tubercules fertilisés contenait aussi environ 20% de plus de N_{total} que celle des tubercules des parcelles témoins (Figure 23).

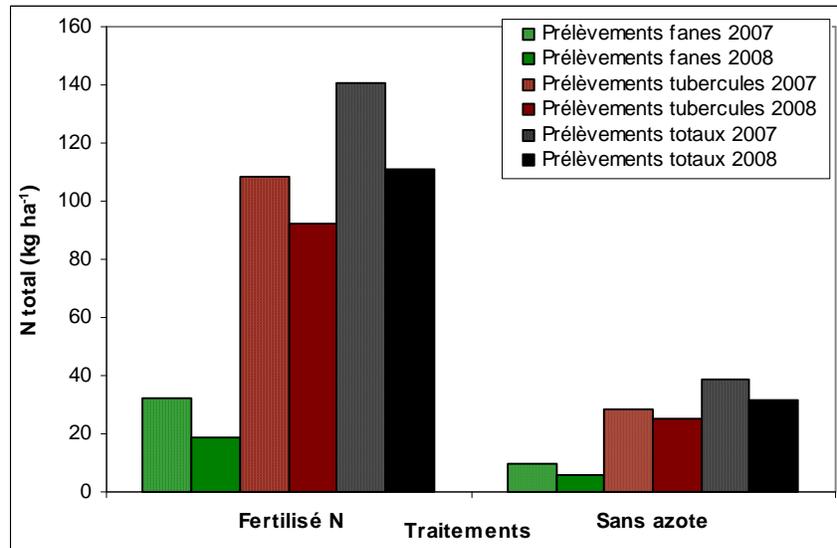


Figure 22. Prélèvements totaux (fanés et tubercules) en azote pour la saison et exportations d'azote par les tubercules à la récolte en 2007 et 2008 au site de Deschambault.

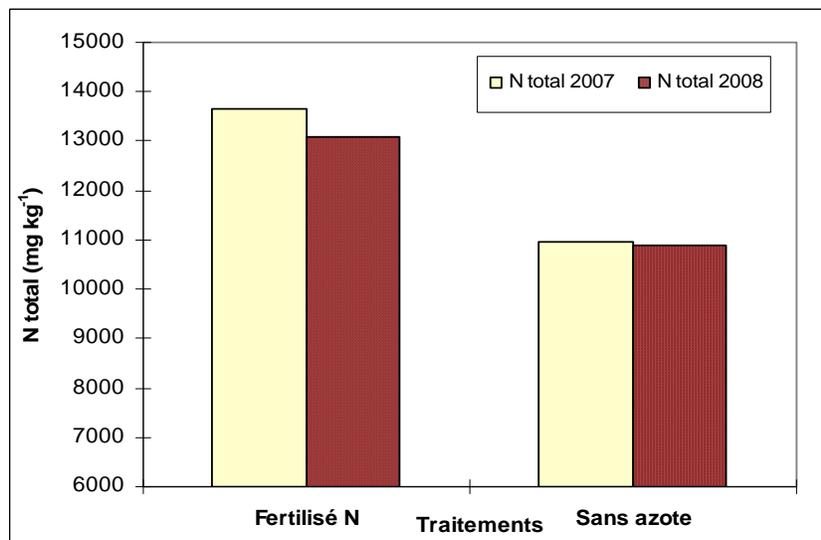


Figure 23. Concentration en azote total et en nitrates des tubercules à la récolte en 2007 et 2008 au site de Deschambault.

La connaissance des prélèvements totaux dans les parcelles fertilisées et témoins a permis de calculer le CUA de l'engrais minéral. Nous avons ainsi pu calculer le pourcentage d'azote non utilisé et mettre une valeur économique sur la perte d'utilisation de l'N. Selon les données du tableau 1, le CUA de l'azote a effectivement été moindre en 2008 qu'en 2007, passant de 68% d'efficacité en 2007 à 52% en 2008. Cette différence peut, de prime abord, ne pas sembler majeure, mais elle aura un impact important en terme monétaire puisqu'elle 1) contribuera en partie à réduire les rendements et 2) qu'une part plus grande de l'argent investi dans les fertilisants sera dépensée en pure perte. Ainsi, la différence entre les CUA de 2007 et 2008, de 31%, s'est accompagnée d'une baisse des rendements totaux de 28% et des rendements vendables de 41% en 2008, comparativement à ceux de 2007. Bien que la baisse des rendements ne puisse être attribuée uniquement à la moins bonne utilisation de l'engrais N, il demeure que la diminution du CUA représente une perte monétaire significative par diminution des revenus, à laquelle il faut ajouter le prix de la part des engrais non efficaces.

Selon les CUA du tableau 1, il est possible de calculer que 32% et 48% du N minéral appliqué n'ont pas été efficaces en 2007 et 2008, respectivement. Ainsi, des 150 kg ha⁻¹ appliqués, 48 kg ha⁻¹ et 72 kg ha⁻¹ sont considérés comme n'ayant pas été utilisés en 2007 et 2008, respectivement. Si l'on fixe un prix de 2\$ le kg pour l'azote, ceci signifie que 96\$ et 144\$ ha⁻¹ n'ont pas été rentabilisés. Pour une exploitation de grosseur moyenne⁸, soit environ 33 ha, cela représente une perte de 3 170 \$ en 2007 et de 4 750 \$ en 2008. Au niveau environnemental, cela signifie également la perte de 1,6 et 2,4 tonnes d'azote vers les eaux de surface ou souterraines, soit 4 tonnes d'azote uniquement pour ces 2 années.

En conclusion, le taux d'utilisation de l'azote est très sensible aux conditions climatiques et des différences qui semblent *a priori* minces, peuvent avoir des impacts majeurs sur la rentabilité de la production et sur son impact environnemental. C'est pourquoi, la gestion des conditions influençant le taux d'utilisation de l'azote devrait être suivie de près et basée sur des critères décisionnels dont la validité est fondée afin d'optimiser au maximum l'utilisation du fertilisant.

Tableau 1. Impact de la fertilisation N sur le bilan azoté de la culture de la pomme de terre pour les saisons 2007 et 2008 au site de Deschambault.

Fertilisation apportée (kg ha ⁻¹)	Prélèvements en N			Bilan plant	CUA %	Azote total du sol		Bilan sol
	Fanes ----- (kg ha ⁻¹)	Tubercules (kg ha ⁻¹)	Totale -----			Plantation ----- (kg ha ⁻¹)	Récolte -----	
2007 0	10	29	39	- 39		1469	1331	-138
150	32	108	141	9	68	1484	1392	-92
2008 0	6	25	32	- 32		1326	1138	-188
150	19	92	111	39	52	1381	1223	-158

Le suivi du contenu en nutriments de la couche 0-20 cm de sol indique que la teneur en N_{total} du sol s'abaisse entre la plantation et la récolte (Tableau 2), indiquant que l'azote non utilisé du fertilisant minéral ne semble donc pas s'être accumulé dans la couche utile de sol (0-20 cm). Les

⁸ 19 400 ha en cultures en 2006 pour 598 entreprises (MAPAQ et ISQ 2007).

deux années, malgré un apport de N minéral à la plantation, le contenu en N_{total} des sols fertilisés s'est abaissé de 9% ($P = 0,0192$) et 14% ($P < 0,0001$) en 2007 et 2008, respectivement. Une tendance similaire s'observe aussi dans les sols témoins avec une baisse de 6% ($P = 0,0682$) et 14 % ($P = 0,0030$) en 2007 et 2008, respectivement. Cette diminution peut être expliquée en partie par le prélèvement en N des plants en cours de saison, ainsi que par le fait qu'une partie du N résiduel, immobilisé dans les microorganismes ou présent dans les résidus non décomposés, échappe au dosage. Cependant, tel que l'indiquent les CUA, une partie significative de l'azote appliqué n'a pas été utilisée et semble donc plutôt avoir été perdue, probablement par lessivage, tel que l'indiquait la dynamique des nitrates, particulièrement en 2008. En effet, les quantités perdues sont probablement beaucoup moindres en 2007 puisque seulement 48 kg ha^{-1} d'azote du fertilisant n'ont pas été utilisés comparativement à 72 kg ha^{-1} en 2008.

Tableau 2. Évolution des contenus en nutriments du sol dans la culture de la pomme de terre pour les saisons 2007 et 2008.

Années	Périodes	Fertilisation (kg N ha ⁻¹)	N	P	K	Ca	Mg	Al	Fe	Cu	Zn
			kg ha ⁻¹ -----								
2007	Plantation	0	1469	470	178	1272	60	906	196	1,3	3,1
		150	1484	453	172	1352	65	857	195	1,3	3,1
	Récolte	0	1331	537	176	1361	57	1009	198	2,8	3,2
		150	1392	515	112	1418	56	946	205	2,4	3,1
2008	Plantation	0	1326	472	141	1190	58	900	184	0,8	3,0
		150	1381	454	137	1321	62	847	190	0,8	3,1
	Récolte	0	1138	507	110	1228	60	979	213	1,4	3,0
		150	1223	518	132	1326	69	966	229	1,4	3,2

3.1.6 Déterminer le rapport optimal entre le mode de pilotage de l'irrigation, le lessivage des nitrates, le rendement en tubercules et la qualité de ces derniers dans une perspective de conservation de l'eau et d'optimisation de l'utilisation des éléments fertilisants par la plante.

Étant donné l'absence d'irrigation, il n'est pas possible de déterminer le rapport optimal entre le mode de pilotage de l'irrigation, le lessivage des nitrates, le rendement et la qualité en tubercules. Cependant, l'ensemble des données recueillies démontre bien l'importance de gérer adéquatement l'apport d'eau puisque le coefficient d'utilisation de l'azote et le lessivage des nitrates peut changer rapidement et de façon importante en fonction des conditions hydriques du sol, tel que le démontre la baisse des CUA de l'N en 2008 et les pertes monétaires subséquentes aux baisses de rendement et à la perte d'une partie de l'argent investie dans les engrais. La sensibilité de l'efficacité d'utilisation de l'azote par rapport aux conditions hydriques ressort d'autant plus que sur la période d'étude, il est en fait tombé au total environ la même quantité de pluie en 2007 qu'en 2008 (11% de différence). Ainsi, la mauvaise répartition des pluies a été suffisante pour faire diminuer significativement les bénéfices de la fertilisation et diminuer la marge bénéficiaire. La bonne gestion des périodes d'irrigation, dont le but est justement d'homogénéiser au cours de la saison la teneur en eau du sol, aura donc probablement un impact

notable sur l'optimisation de l'utilisation de l'engrais azoté. Ceci renforce les besoins de recherche dans ce domaine, particulièrement au Québec où la répartition des précipitations est très changeante d'une année à l'autre et où aucune étude n'a encore été faite sur le lien entre les CUA de l'azote et la gestion de l'irrigation.

3.1.7 Évaluer la rentabilité économique de l'irrigation dans la pomme de terre.

Étant donné l'absence d'irrigation, il est impossible d'évaluer la rentabilité économique de l'irrigation dans la pomme de terre à partir des résultats obtenus dans ce projet. Cependant, les connaissances acquises lors de cette étude démontrent la sensibilité du coefficient d'utilisation de l'azote (voir 3.1.5) en regard des conditions de production. Dans ce cas-ci, les conditions hydriques semblent avoir en partie influencé les rendements, indiquant l'impact déterminant que peut avoir la gestion de l'irrigation sur la rentabilité de la culture de la pomme de terre lors de saison où les apports d'eau par les précipitations doivent être complétés par l'irrigation afin de combler les besoins de la plante.

Un mode de gestion adéquat de l'irrigation, basé sur des critères décisionnels dont la validité est fondée et qui sont facilement mesurables au champ en conditions commerciales, aura donc probablement un impact décisif sur l'optimisation de l'argent investi dans les engrais qui représentent une charge monétaire importante de la production. En effet, ce projet démontre qu'une hausse de quelques pourcents du taux d'utilisation de l'azote peut se traduire en montants significatifs d'argent. Dans le cas présent, une variation du CUA de l'azote de 52% à 68% a permis de hausser de 31% l'utilisation du N de l'engrais. Une telle différence du taux d'utilisation de l'azote a un impact important en terme monétaire puisqu'elle contribue à augmenter la productivité de la culture, donc plus de revenus provenant de la vente des tubercules, et à optimiser l'argent investi dans les fertilisants. Bien que les différences de rendements ne puissent pas être attribuées uniquement à la baisse des CUA du N, il demeure intéressant de chiffrer par un calcul simplifié exploratoire l'écart de revenu entre les deux années. En terme de rendements vendables, cet écart se chiffre à 3 724\$ ha⁻¹, pour une différence de 8,9 T ha⁻¹ considérant un prix de vente moyen de 418\$ T⁻¹ (19\$ du 100 livres le 14 novembre 2008; <http://www.fpptq.qc.ca>). À cette baisse de revenus s'ajoute le coût indirect relié à la part supplémentaire des engrais N non utilisée en 2008 comparativement à 2007, soit 48 \$ ha⁻¹ pour un prix de l'azote à 2\$ le kg (voir 3.1.5). Considérant que selon la Table filière pomme de terre (<http://www.mapaq.gouv.qc.ca/Fr/md/filieres/pommedeterre/statistiques.htm>) les recettes du marché ont atteint 83 844 K\$ en 2004 pour une superficie récoltée de 19 300 ha, il s'agit d'une valeur non négligeable.

En conclusion, des différences d'efficacité fertilisante de l'azote des engrais qui semblent *a priori* minces, peuvent avoir des impacts importants sur la rentabilité de la production et c'est pourquoi la gestion des conditions influençant l'utilisation de l'azote des engrais devrait être suivie de près et bien caractérisé afin d'optimiser son utilisation, d'autant plus que les CUA de l'azote sont très sensibles aux conditions climatiques. Ainsi, au Québec, le CUA de l'azote de l'engrais n'est habituellement en moyenne que de 60% (valeur référence CRAAQ (2003), terres non irriguées). En terme monétaire, cela signifie que sur les 150 kg N ha⁻¹ couramment appliqués, 60 kg ha⁻¹ sont perdus, i.e. 120 \$ ha⁻¹ (à 2\$ le kg de N), ce qui totalise une perte de 2,3

millions de dollars sur les 19 300 ha cultivés en pommes de terre au Québec. L'ampleur de ce montant renforce les besoins de recherche dans ce domaine, d'autant plus qu'au Québec aucune étude n'a encore été faite sur le lien entre les CUA de l'azote, les rendements et la gestion tensiométrique de l'irrigation dans la culture de la pomme de terre.

4 IMPACT

4.1 Impact sur le secteur

La réalisation de l'étude telle que planifiée, qui aurait permis d'établir 1) l'importance du stade phénologique de la culture dans le démarrage de l'irrigation et 2) le lien entre les CUA de l'azote des fertilisants, les rendements en pomme de terre et la gestion tensiométrique de l'irrigation, aurait eu un impact important sur le secteur considérant l'influence des conditions hydriques du sol sur le CUA des engrais et, incidemment, sur le coût des pertes monétaires (en millions de dollars) et des risques environnementaux qui se rattachent à la perte des fertilisants. Cependant, un excès plutôt qu'un manque d'eau s'est produit au cours de l'étude.

Toutefois, ce projet a quand même un impact sur le milieu puisqu'un parallèle peut être établi entre les excès d'eau durant les deux saisons de croissance et ce qui serait provoqué par une irrigation excessive. Ainsi, ce projet a permis d'acquérir des connaissances qui sont préalables à une utilisation rationnelle de l'eau et qui permettront de planifier adéquatement les études qui suivront afin de pouvoir établir le lien entre les CUA du N, la gestion tensiométrique de l'irrigation et la productivité de la culture de PdT; étude qui n'existe pas encore au Québec.

Ensuite, les résultats de ce projet pourront sans aucun doute profiter à d'autres initiatives de recherche portant sur l'irrigation dans diverses cultures. Les données recueillies tendent en effet à montrer que le stade phénologique a un impact sur l'optimisation de l'irrigation qui ne doit pas être écarté et qui demande des études sur le sujet.

L'étude a aussi démontré à l'usage que le pilotage de l'irrigation par tensiométrie est une méthode de gestion de l'irrigation conviviale, facilement transférable en contexte de production commerciale. De plus, les cultivars choisis, sélectionnés parmi ceux les plus utilisés et qui se retrouvent dans plusieurs régions du Québec, de même que le sol choisi, de type sableux, le plus représentatif de ce secteur de production, assure que les résultats de ce projet sont exportables à l'échelle du Québec.

En révélant l'impact des conditions hydriques sur le CUA du N des engrais, l'étude donne une information précieuse afin d'optimiser l'utilisation des éléments fertilisants par la plante et pour diminuer les risques de pollution diffuse dans l'environnement en identifiant un facteur qui y est associé et qui sera dorénavant un aspect important à étudier.

Finalement, ces essais contribueront à augmenter la compétitivité des entreprises québécoises de ce secteur puisqu'il a prouvé l'impact que peuvent avoir les conditions hydriques du sol sur le CUA du N des engrais. Ils sensibiliseront le milieu au fait que des changements *a priori* minces, peuvent avoir des conséquences importantes au niveau économique et environnemental. Ceci contribuera à développer des systèmes de production qui tiennent compte de cet aspect.

4.2 Pérennité du projet

La pérennité du projet sera d'abord assurée par la fiche synthèse qui a été produite dans le cadre de la journée de démonstration à la ferme de Deschambault et qui est disponible en ligne sur le site Internet de l'IRDA et d'Agri-Réseau et par le dépôt du présent rapport. De plus, elle sera pleinement assurée par la disponibilité des intervenants, travaillant dans le secteur public, qui ont été impliqués dans le projet. Enfin, l'expérience et les connaissances acquises durant la réalisation de ce projet seront mises à profit dans l'élaboration d'études connexes.

5 DIFFUSION DES RÉSULTATS

Activités prévues	Activités réalisées	Description (thème, titre, endroit, etc.)	Date de réalisation	Nombre de personnes rejointes	Visibilité accordée au CDAQ et à AAC (logo, mention)
Fiche technique de présentation et de démarrage du projet.	Mise en ligne en juillet 2008	Détermination du stade phénologique optimal pour amorcer l'irrigation en lien avec le gain en pommes de terre et la perte des nitrates.	Juillet 2008	Tous ceux qui consultent le site WEB de l'IRDA et d'Agri-Réseau	Logo
Fiche descriptive	Description du projet (objectifs, durée et partenaires) dans les pages WEB des chercheurs impliqués sur le site de l'IRDA		Mars 2007	Tout ceux qui consultent le site WEB de l'IRDA	Logo
Portes ouvertes	Journée de démonstration des parcelles expérimentales à Deschambault pour les agriculteurs et professionnels du milieu	Deschambault	10 juillet 2008	120 personnes	Logo
Rapport d'étape	Dépôt du rapport d'étape au CDAQ	Cibler le stade phénologique optimal pour amorcer l'irrigation en lien avec le gain en pommes de terre et la perte des nitrates. Rapport d'étape première année.	31 mars 2008	Variables	Logo
Fiche technique de présentation des résultats et conclusion	Sera mise en ligne à l'hiver 2009, avant le 31 mars.	À venir	À venir	À venir	À venir

Activités prévues	Activités réalisées	Description (thème, titre, endroit, etc.)	Date de réalisation	Nombre de personnes rejointes	Visibilité accordée au CDAQ et à AAC (logo, mention)
Conférences lors des Journées régionales du MAPAQ et/ou de la Semaine horticole	Ne peut être réalisées étant donné que les traitements n'ont pu être effectués				
Article de vulgarisation	Articles dans la revue Agrosolutions de l'IRDA ou dans le Bulletin des agriculteurs	À venir	À venir	À venir	À venir
Articles scientifiques	Ne peut être réalisées étant donné que les traitements n'ont pu être effectués				
Présentation des résultats dans un colloque de niveau international (selon les possibilités).	Ne peut être réalisées étant donné que les traitements n'ont pu être effectués				
Rapport final	Dépôt du rapport final au CDAQ		26 novembre 2008	Variables	

6 REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier les ouvriers de la ferme expérimentale de Deschambault pour leur précieuse collaboration au projet, particulièrement dans l'échantillonnage en profondeur requis pour le suivi du lessivage des nitrates qui requiert une bonne dose de ténacité. Nos remerciements s'adressent également à Mme Michèle Grenier de l'IRDA pour sa précieuse expertise et sa grande disponibilité dans l'analyse statistique des données. Nous soulignons également les contributions de M. Bruno Gosselin et Mme Stéphanie Tellier dans la réalisation du projet. Ensuite, notre appréciation s'étend aux entreprises HORTAU et Dubois Agrinovation pour leur soutien technique et leur participation financière au projet. Finalement, 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 Défi Solution.

7 RÉFÉRENCES

Barry, D.A.J. et M.H. Miller. 1989. Phosphorus nutritional requirement of maize seedlings for maximum yield. *Agron. J.* 81: 95-99.

Centre de Référence en Agriculture et Agroalimentaire du Québec (CRAAQ). 2003. Guide de référence en fertilisation. CRAAQ, Québec, Qc.

Fulton, J.M. 1970. Relationship of root extension to the soil moisture level required for maximum yield of potatoes, tomatoes and corn. *Can. J. Soil Sci.* 50:92-94.

Holder, C.B. et J.W. Cary. 1984. Soil oxygen and moisture in relation to Russet Burbank potato yield and quality. *Am. Potato J.* 61:67-75.

King, B.A. et J.C. Stark. 1997. Potato irrigation management. University of Idaho Cooperative Extension System, Bull. #789. 16 p.

Loon, C.D. van. 1981. The effect of water stress on potato growth, development and yield. *Am. Potato J.* 58:51-69.

Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ) et Institut de la statistique du Québec (ISQ). 2007. Profil sectoriel de l'industrie horticole au Québec. Consulté le 28 octobre 2008, tiré de http://www.stat.gouv.qc.ca/publications/ind_bioalimentaire/prof_horti.htm

N'Dayegamiye, A., S. Huard, et Thibault, Y. 2001. Valeur fertilisante des boues mixtes de papetières (biosolides) dans des sols cultivés en maïs-grain, soya et orge. *Agrosol* 12(1): 25-24.

Rowe, R.C. 1993. Potato health management. APS Press, Plant health management Series. St. Paul, Minnesota, 178 p.

Statistique Canada, Novembre 2008. Production canadienne de pommes de terre. Bulletin de service No 22-008-X. 14 p.

Westfall, P., T. Randall, R. D. Rom Wolfinger et Y. Hochberg. 1999. Multiple comparison and multiple tests using SAS system, SAS Institute inc. Cary, N.C.

8 HISTOIRE D'UNE RÉUSSITE

La faible capacité de rétention en eau des sols habituellement utilisés pour la pomme de terre (PdT) est favorable aux contraintes hydriques et au lessivage des nitrates. L'approche raisonnée, qui devrait être adoptée pour la gestion de l'irrigation dépend de critères décisionnels dont certains restent à préciser. Réalisée à Deschambault en 2007-08, cette étude visait à mesurer les impacts économiques et environnementaux conséquents au choix d'un stade phénologique précis pour amorcer l'irrigation en plus de sensibiliser les intervenants du milieu à l'importance d'un suivi quantitatif du statut hydrique du sol. Ainsi, les résultats devaient orienter ce secteur vers une gestion tensiométrique considérant les stades phénologiques. Or, un surplus d'eau attribuable aux pluies s'est produit, surtout en 2008. Toutefois, une irrigation inadéquate entraînerait le même type d'excès. La relation entre l'excès d'eau et le faible rendement est particulièrement forte durant la période suivant la floraison. De plus, ces conditions ont affecté négativement la fertilisation. Les teneurs en nitrates dans la couche 0-20 cm du sol n'ont été haussées qu'en 2007, dans les semaines suivant l'application. En 2008, les nitrates ont été lessivés et le coefficient d'utilisation apparente (CUA) de l'azote (N) s'est abaissé de 31%. Cette différence a eu un impact monétaire en diminuant 1) les revenus et 2) la part utilisée de l'argent des fertilisants. Ainsi, en 2008, à la baisse de 41% des rendements vendables, se chiffrant à 3 724\$ ha^{-1*}, s'ajoutent le coût relié à la part additionnelle des engrais N inutilisés, soit 1 584 \$** pour 33 ha en PdT. La sensibilité du CUA du N par rapport aux conditions hydriques ressort d'autant plus qu'il est tombé un volume similaire de pluie les 2 années. Ainsi, leur répartition inadéquate a suffi pour diminuer les bénéfices de la fertilisation. Une gestion raisonnée de l'irrigation influencera probablement l'optimisation du CUA du N qui présente une valeur référentielle de 60% au Québec. Pour les 19 300 ha en PdT au Québec, selon cette valeur, 60 des 150 kg N ha⁻¹ appliqués seraient perdus, totalisant 1 158 T de N an⁻¹ pour une valeur de 2,3 M\$. L'état hydrique du sol devrait donc être géré selon des critères décisionnels validés afin de maximiser l'utilisation des fertilisants. Ceci renforce les besoins de recherche au Québec où aucune étude n'a encore été faite sur le lien entre les CUA du N, la gestion tensiométrique de l'irrigation et la productivité de la PdT.

*(19\$ du 100 livres le 14 novembre 2008; <http://www.fpptq.qc.ca>)

** (2\$ kg⁻¹ N)

9 ANNEXE - Photographies reliées au projet



Figure 24. Dispositif d'irrigation par aspersion en carré-latin (vue vers l'est), Deschambault à l'été 2007.



Figure 25. Site de l'Ile d'Orléans le 6 mai 2007 à la plantation.



Figure 26. Tensiomètre (Hortimètre) installé dans la zone racinaire.

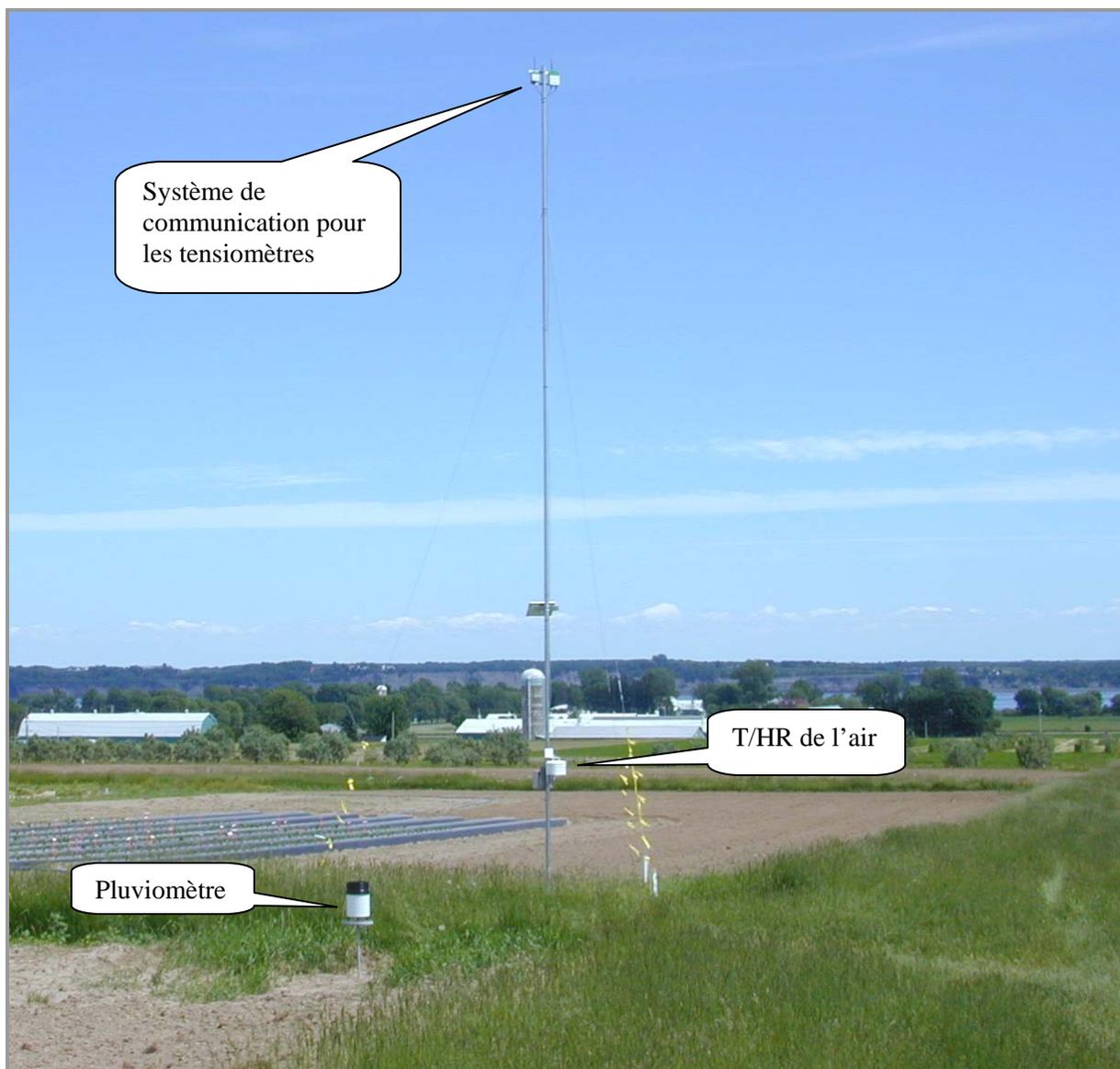


Figure 27. Équipements pour le suivi des conditions météorologiques et pour la communication avec les tensiometres, Deschambault, 22 mai 2007.



Figure 28. Échantillonneur de sol de marque *Giddings* dans les parcelles du dispositif de Deschambault, 19 octobre 2007.



Figure 29. Récolte des pommes de terre, Deschambault, 25 septembre 2007.