



CETAB⁺

Centre d'expertise et de transfert en
agriculture biologique et de proximité

Optimisation de la fertilisation pour la production de tomates en grands tunnels

Rapport final présenté dans le cadre de

10INNO1-07

Par Anne Weill, agr., Ph.D., Valérie Roy-Fortin, agr. et J. Duval, agr. Ph.D.
Avec la collaboration de C. Landry, agr. Ph.D.¹ . Gilles Turcotte, agr. et Hélène
Lafontaine, agr.

Le 30 janvier 2014

¹ Institut de recherche et de développement en agro-environnement (IRDA)



RÉSUMÉ

En raison des nombreux avantages que procurent les grands tunnels, leur utilisation pour la production de cultures légumières et fruitières gagne en popularité chez les maraîchers québécois. Offrant une certaine prévention naturelle contre plusieurs agents pathogènes, ces structures sont d'autant plus attirantes en agriculture biologique. Comme la régie de fertilisation à recommander sous ces abris non chauffés était mal connue, un projet de trois ans a été mis en place afin de définir les taux de fertilisation azotée optimaux pour les tomates cultivées en grands tunnels.

Les essais se sont déroulés sur deux sites fermiers en 2011 et en 2012 et sur trois sites en 2013. Ces sites étaient situés à Wickham au Centre-du-Québec et à Ripon et St-André-Avellin en Outaouais. Lors des deux premières années, la fertilisation a été fractionnée. Un apport de base de 135 kg N/ha a été appliqué avant la plantation et des ajouts de 68 ou 135 kg d'azote ont été réalisés en juin, juillet et août pour comparer des doses totales d'environ 135, 195 et 270 kg N/ha. Comme une seule augmentation de rendement a été obtenue sur un site en 2011, grâce à la dose de 195 kg/ha, il a été décidé de réduire les doses testées en 2013 à 135, 165 et 195 kg/ha et de mettre toute la fertilisation avant la plantation. Il n'y a eu aucune augmentation de rendement due à la fertilisation supplémentaire en 2013. Après ces trois années d'essais, il apparaît que d'autres éléments de régie sont plus importants que la fertilisation dans l'obtention de rendements optimaux, tel que le choix de variétés, la régie d'irrigation et l'état structural du sol.

La pertinence de plusieurs types d'analyses a été vérifiée au cours de ces trois années. Les analyses foliaires correspondaient assez bien avec les analyses de base standard et les résultats de rendement. Les analyses SSE telles qu'utilisées en serriculture ne se sont pas avérées intéressantes. Les niveaux sont beaucoup plus bas que ceux recommandés lors des suivis en serriculture et ne correspondaient pas aux résultats des analyses foliaires. En ce qui concerne les analyses de nitrates, les niveaux mesurés semblent varier en fonction de la rapidité de croissance des plantes et du sol. Elles sont peu utiles lorsque toute la fertilisation est mise au départ. Des tests d'incubation permettant de connaître la capacité du sol à fournir de l'azote ont été réalisés en 2012 et 2013. Ces tests semblent refléter les observations faites sur le terrain et méritent d'être plus investigués afin de pouvoir les utiliser dans la régie de fertilisation. Les analyses de sol réalisées en 2013 avec la méthode de l'Université Cornell n'ont pas donné des résultats qui correspondaient bien avec la réalité du terrain telle qu'évaluée avec des profils de sols agronomiques et des suivis de cultures. Pour le moment, les analyses de sol de base et les analyses foliaires restent ce qu'il y a de plus utile. La salinité du sol a aussi été mesurée avec la méthode 2 :1 (Lambert, 2006) en 2011 et 2012 pour vérifier si les valeurs étaient bien corrélées avec la salinité mesurée au laboratoire et avec les nitrates du sol. Il est ressorti que le degré de corrélation varie avec la ferme et l'année.

À la lumière de ces résultats, il semble qu'il n'est pas nécessaire d'augmenter la fertilisation pour la production de tomates en grand tunnel et que les méthodes de fertilisation en champ sont les plus appropriées. Il faut toutefois adapter la régie de fertilisation en fonction de la richesse du sol car chaque

site est différent. Il reste à explorer davantage l'utilisation des tests de minéralisation comme outil de décision dans la régie de fertilisation.

Mots clés :

Agriculture biologique, grands tunnels, tomates, fertilisation, fumier de volaille granulé, farine de plumes, minéralisation, azote

TABLE DES MATIÈRES

Résumé.....	<i>i</i>
Introduction.....	1
Méthodologie et déroulement des travaux.....	2
Personnel affecté à cette étude.....	2
Méthodologie.....	2
Caractéristiques du sol et pratiques culturales des sites	2
Dispositif expérimental et traitements	4
Variables mesurées	7
Résultats	11
Rendements	11
Analyses de sol	13
Nitrates du sol	13
Capacité de minéralisation du sol et rapport c/n.....	14
Comparaison du taux de minéralisation du fumier granulé et de la farine de plumes.....	20
Salinité mesurée au laboratoire et avec le test 2 : 1 et nitrates	21
Analyses de Cornell	22
Analyses foliaires.....	24
Carences et maladies	27
Autres mesures	28
Chlorophylle	28
Températures	28
Conclusion	29
Bibliographie	30
Annexes.....	31
Annexe I Graphiques et corrélations	31
Annexe II Résultats des analyses faites avec la méthode Cornell	38
Annexe III Température	39
Année 2011	39
Année 2012	42
Année 2013	44

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Caractéristiques du sol des sites.....	3
Tableau 2. Méthodes culturales et variétés utilisées	4
Tableau 3. Fertilisation apportée	6
Tableau 4. Dates de plantation, de récolte et d'apports en fertilisants	7
Tableau 5. Échantillonnages et mesures réalisés durant la saison 2011 pour les deux sites	7
Tableau 6. Échantillonnages et mesures réalisés durant la saison 2012 pour les deux sites	8
Tableau 7. Échantillonnages et mesures réalisés durant la saison 2013 pour les trois sites	9
Tableau 8. Rendements en tomates selon la dose d'azote	11
Tableau 9. Caractéristiques des sites échantillonnés en 2012 pour la mesure de l'azote minéralisé par incubation .	15
Tableau 10. Caractéristiques des sites échantillonnés en 2013 pour la mesure de l'azote minéralisé par incubation.....	16
Tableau 11. Quantité produite de N-NO ₃ et N-NH ₄ dans un sol contenant soit du fumier granulé soit de la farine de plumes incubé 10 et 20 jours.....	20
Tableau 12. Régressions entre la salinité mesurée au laboratoire (SL), la salinité mesurée sur le terrain (SM) et les teneurs en nitrates SSE (NO ₃) du sol – saison 2011.....	22
Tableau 13. Régressions entre la salinité mesurée au laboratoire (SL), la salinité mesurée sur le terrain (SM) et les teneurs en nitrates du sol (NO ₃) - 2012.....	22
Tableau 14. Caractéristiques des sites échantillonnés pour les analyses de Cornell en 2013.	23
Tableau 15. Sol Classé selon les observations sur le terrain (profils de sol et rendements) et résultats de Cornell (note globale et résultats d'analyses)	23
Tableau 16. Moyennes des analyses foliaires par site et par année	253
Tableau 17. Résultats des valeurs et des évaluations des sites soumis aux tests de Cornell	38

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Dispositif expérimental en 2011 et en 2012.....	4
Figure 2. Teneur en nitrates du sol aux sites Wickham et Ripon, en juillet, août et septembre 2011 (effet significatif à P≤0.05 pour Ripon en août)	13
Figure 3. Teneur en nitrates du sol aux sites Wickham et Ripon en août 2012 (pas de différence statistique).	14
Figure 4. Quantité produite de N-NO ₃ et N-NH ₄ dans les sols incubés 10 et 20 jours en 2012.....	15
Figure 5. Quantité produite de N-NO ₃ et N-NH ₄ dans les sols incubés 10 et 20 jours en 2013.....	16
Figure 6. Quantité produite de CO ₂ durant l'incubation des sols en 2012.....	17
Figure 7. Quantité produite de CO ₂ durant l'incubation des sols en 2013.....	18
Figure 8. Teneur en carbone total et en azote du sol en 2012 (pour faciliter la lecture du graphique, les valeurs d'azote (%) ont été multipliées par 10).	19
Figure 9. Teneur en carbone total et en azote du sol en 2013 (pour faciliter la lecture du graphique, les valeurs d'azote (%) ont été multipliées par 10).	20
Figure 10. Quantité produite de N-NO ₃ et N-NH ₄ dans les sols incubés 10 et 20 jours pour les traitements 3 et 4 sur le site de Wickham en 2013.....	21
Figure 11. Impact de la fertilisation azotée sur la teneur en azote foliaire des plants de tomate en 2011 (effet significatif à P≤0.05 pour Wickham en juillet, août et septembre)	26

<i>Figure 12. Impact de la fertilisation azotée sur la teneur en azote foliaire des plants de tomate en 2012 (effet significatif à $P \leq 0.05$ pour Wickham en septembre).....</i>	<i>26</i>
<i>Figure 13. Impact de la fertilisation azotée sur la teneur en azote foliaire des plants de tomate en 2013 (effet significatif à $P \leq 0.05$ pour Wickham en juillet).....</i>	<i>27</i>
<i>Figure 14. Teneur foliaire en chlorophylle pour chaque mois et chaque traitement</i>	<i>28</i>
<i>Figure 15. Corrélacion entre la salinité mesurée en laboratoire et celle mesurée avec le test 2 :1 au site Wickham en 2011.....</i>	<i>31</i>
<i>Figure 16. Corrélacion entre les nitrates SSE et la salinité mesurée avec le test 2 :1 au site Wickham en 2011.....</i>	<i>31</i>
<i>Figure 17. Corrélacion entre les nitrates SSE et la salinité mesurée mesurée au laboratoire au site Wickham en 2011.....</i>	<i>32</i>
<i>Figure 18. Corrélacion entre la salinité mesurée au laboratoire et celle mesurée avec le test 2 : 1 au site Ripon en 2011.....</i>	<i>32</i>
<i>Figure 19. Corrélacion entre les nitrates SSE et la salinité mesurée avec le test 2 : 1 au site Ripon en 2011.....</i>	<i>33</i>
<i>Figure 20. Corrélacion entre les nitrates SSE et la salinité mesurée au laboratoire au site Ripon en 2011.....</i>	<i>33</i>
<i>Figure 21. Corrélacion entre la salinité mesurée au laboratoire et celle mesurée avec le test 2 : 1 au site Wickham en 2012.....</i>	<i>34</i>
<i>Figure 22. Corrélacion entre les nitrates et la salinité mesurée avec le test 2 :1 au site Wickham en 2012</i>	<i>34</i>
<i>Figure 23. Corrélacion entre les nitrates et la salinité mesurée au laboratoire au site Wickham en 2012</i>	<i>35</i>
<i>Figure 24. Corrélacion entre la salinité mesurée au laboratoire et celle mesurée avec le test 2 : 1 au site Ripon en 2012.....</i>	<i>35</i>
<i>Figure 25. Corrélacion entre les nitrates SSE et la salinité mesurée avec le test 2 :1 au site Ripon en 2012.....</i>	<i>36</i>
<i>Figure 26. Corrélacion entre les nitrates SSE et la salinité mesurée au laboratoire au site Ripon en 2012.....</i>	<i>36</i>
<i>Figure 27. Température minimum et maximum moyennes en grands tunnels et en champ au site Wickham, saison 2011 (relevé manuel).....</i>	<i>39</i>
<i>Figure 28. Température minimum et maximum moyennes en grands tunnels et en champ au site Ripon, saison 2011 (relevé manuel).....</i>	<i>40</i>
<i>Figure 29. Comparaison des températures minimum en tunnel pour les deux sites en 2011 (relevé manuel).....</i>	<i>41</i>
<i>Figure 30. Comparaison des températures maximum en tunnel pour les deux sites en 2011(relevé manuel).....</i>	<i>42</i>
<i>Figure 31. Température minimum et maximum en grands tunnels uniquement – Wickham 2012 (données d’une chapelle avec tomates et d’une chapelle avec poivrons relevé continu).....</i>	<i>42</i>
<i>Figure 32. Température minimum et maximum moyennes en grands tunnels et en champ – Wickham 2012 (relevé manuel).....</i>	<i>43</i>
<i>Figure 33. Température minimum et maximum moyennes en grands tunnels et en champ – Wickham 2013 (relevé continu).....</i>	<i>44</i>
<i>Figure 34. Température minimum et maximum moyennes en grands tunnels et en champ – St-André-Avellin 2013 (relevé continu).....</i>	<i>45</i>
<i>Figure 35. Températures moyennes journalières sous tunnel et en champ au cours de la saison – St-André-Avellin 2013</i>	<i>46</i>

INTRODUCTION

Plusieurs maraîchers biologiques s'intéressent de plus en plus à la production en grands tunnels car ce type d'infrastructure permet d'augmenter les rendements de façon importante. Cette hausse est principalement attribuée à une plus faible pression des maladies bactériennes et fongiques grâce au climat plus sec qui règne à l'intérieur des abris. Comme l'utilisation de cet équipement en est à ses débuts, particulièrement en agriculture biologique, la régie des cultures mérite d'être approfondie et plus définie. Il est entre autres impératif, étant donné son importance dans l'établissement des rendements, d'évaluer si la fertilisation azotée recommandée aux champs par le Guide de référence en fertilisation du CRAAQ (2010) convient en grands tunnels. Par conséquent, l'objectif général du projet était d'optimiser les rendements des cultures de tomates produites sous grands tunnels par une approche de fertilisation azotée adaptée à cette pratique. Un autre objectif du projet était de vérifier si certains types d'analyses de sol et foliaires pouvaient aider à prédire la fertilisation nécessaire.

Il était prévu que les connaissances générées par ce projet pourraient contribuer à améliorer la productivité des maraîchers biologiques utilisant la technologie des grands tunnels et permettre aux producteurs qui débutent avec cette technique d'obtenir les meilleurs résultats possibles dès la première année de production. Le mandat étant parvenu à échéance, ce rapport dresse un bilan des travaux et des résultats recueillis.

MÉTHODOLOGIE ET DÉROULEMENT DES TRAVAUX

PERSONNEL AFFECTÉ À CETTE ÉTUDE

La chargée de projet du CETAB+ responsable des essais de fertilisation est Mme Anne Weill, agronome. Elle a eu l'aide des personnes suivantes :

- Christine Landry, agronome, Ph.D. (IRDA, expertise en recherche)
- Jean Duval, agronome, Ph.D. (CETAB+)
- Valérie Roy-Fortin, agronome (CETAB+)
- Audrey Ross, technicienne (CETAB+)
- Gilles Turcotte, agronome (Agrisys, expertise en serres et en tunnels)
- Hélène Lafontaine, agronome (Cégep de Victoriaville, expertise en agroéconomie)
- Audrey Fréchette, étudiante (CETAB+, prise de données)
- Nancy Briand, technicienne (CETAB+, prise de données)
- Monica Schnug (Ferme Le Vallon des Sources, prise de données)
- José Trahan (Ferme La Berceuse, prise de données)

De plus, les producteurs partenaires suivants ont participé aux essais en fournissant leur temps et leurs machineries :

- Robin Fortin (Ferme La Berceuse)
- Michel Massuard et Monique Laroche (Ferme Le Vallon des Sources)
- Martin Turcot et Chantale Vaillancourt (Ferme Aux pleines saveurs)

MÉTHODOLOGIE

Lors des trois saisons, les essais ont été implantés directement sur des fermes maraîchères partenaires, soit la ferme La Berceuse et la ferme Le Vallon des Sources, respectivement situées à Wickham dans la région du Centre-du-Québec et à Ripon en Outaouais. En 2013, la ferme Aux pleines saveurs établie à Saint-André-Avellin en Outaouais a également participé à l'étude.

CARACTÉRISTIQUES DU SOL ET PRATIQUES CULTURALES DES SITES

Sur les trois sites, il s'agissait de loams sableux. Les caractéristiques du sol sont indiquées dans le Tableau 1. Les méthodes culturales ainsi que les variétés utilisées sont détaillées au Tableau 2.

Tableau 1. Caractéristiques du sol des sites

	pH eau	pH tampon	% Matière organique	P kg/ha	K kg/ha	Ca kg/ha	Mg kg/ha
Wickham							
2011	6,6	7,0	6,8	156	79	5805	502
2012	7,1	7,4	6,1	209	174	6132	519
2013	6,7	7,1	7,6	215	187	6569	600
Ripon							
2011	6,2	6,3	7,5	121	351	4360	461
2012	6,7		5,4	78	561	3603	685
2013	6,7	7,1	7,2	102	791	2845	485
St-André-Avellin							
2013	6,1	6,4	6,6	141	218	3934	186
	Al ppm	C.E.C. meq/100g	Saturation en P P/Al %	Mn ppm	Zn ppm	Bore ppm	Soufre ppm
Wickham							
2011	1116	19	6,2	82	7,2	0,8	54
2012	1148	17	8,0	167	7,8	1,4	45
2013	981	21	9,7	79	6,7	1,2	24
Ripon							
2011	1709	23	3,2	16,0	6,6	0,6	27
2012	1504		2,3	8,3	5,7	0,7	
2013	1639	13	2,8	11,5	3,9	0,5	21
St-André-Avellin							
2013	1578	19	4,0	9,0	5,2	0,6	28

Tableau 2. Méthodes culturales et variétés utilisées

	Appareils de travail du sol utilisés à l'automne	Appareils de travail du sol utilisés au printemps	Variétés utilisées
Wickham			
2011	Herse à disque - octobre	Herse à disque - début mai Vibroculteur (2 X) - avant plantation	Mountain Fresh
2012	Herse à disque - octobre	Herse à disque - début mai Vibroculteur (2 X) - avant plantation	Celebrity
2013	Herse à disque - octobre	Herse à disque - début mai Vibroculteur (2 X) Sous-soleuse - avant plantation	BHN 589
Ripon			
2011	Rotoculteur peu profond - octobre	Rotoculteur début mai Vibroculteur (2 X) Sous-soleuse - avant plantation	Oregon
2012	Rotoculteur peu profond - octobre	Rotoculteur début mai Vibroculteur (2 X) Sous-soleuse - avant plantation	Defiant
2013	Rotoculteur peu profond - octobre	Rotoculteur début mai Vibroculteur (2 X) Sous-soleuse - avant plantation	BHN 826
St-André-Avellin			
2013	Sous-soleuse	Herse à disques Vibroculteur Rotoculteur	Arbason

DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL ET TRAITEMENTS

Le dispositif expérimental était à blocs complets aléatoires avec trois répétitions. Une quatrième répétition a été ajoutée sur les sites Wickham et Ripon. En 2011 et 2012, trois traitements étaient à l'essai tandis qu'en 2013, quatre traitements ont été étudiés. Les parcelles mesuraient toutes 5 mètres de long par 1,5 mètre de large, soit la largeur d'une plate-bande, pour une superficie de 7,5 m², tel qu'illustré sur la Figure 1.



Figure 1. Dispositif expérimental en 2011 et en 2012

Les traitements ont quelque peu varié lors des trois années du projet. En 2011 et en 2012, les traitements 1, 2 et 3 représentaient respectivement un apport de 135, 195 et 270 kg N/ha, soit 100, 150 et 200 % de la dose normalement recommandée. Le traitement 1 correspondait à la fertilisation azotée recommandée en champ dans les grilles de référence en fertilisation du CRAAQ (2010). La fertilisation supplémentaire dans les traitements 2 et 3 était fractionnée au cours de la saison. En 2011, cet apport était sous forme de fumier de volaille granulé ayant une formulation riche en azote et en potassium afin de se rapprocher de la pratique serricole. En 2012, il a été jugé préférable d'isoler le facteur « azote », donc d'utiliser de la farine de plumes plutôt que du fumier de volaille granulé.

Au terme de ces deux années, très peu de différences ont été observées dans les rendements selon les traitements, suggérant qu'il n'était pas avantageux d'utiliser des doses très élevées qui nécessitaient un fractionnement. Les traitements initiaux qui étaient de 135, 200 et 270 kg/ha ont été remplacés par des traitements de 135, 165 et 195 kg de N. De plus, toute la fertilisation était mise avant la plantation au lieu d'être fractionnée. La farine de plumes a été utilisée comme fertilisant supplémentaire pour les traitements 2 et 3. Des observations faites en 2012 laissaient croire que le fumier granulé se minéralisait de façon plus rapide que la farine de plumes. Un quatrième traitement s'est donc ajouté en 2013 afin de pouvoir comparer l'efficacité du fumier granulé à celle de la farine de plumes dans ce contexte. La dose d'azote de ce traitement était de 195 kg/N, comme dans le traitement 3. Le Tableau 3 de la page suivante présente de façon détaillée la fertilisation apportée au cours des trois saisons.

Tableau 3. Fertilisation apportée

Site et année	Fertilisant, analyse et dose ¹	Apport total en N-P2O5-K2O (kg/ha)	Apport total en N disponible (kg/ha)
Fertilisation de base faite avant la plantation			
Wickham			
2011	Actisol 53-38-27 (kg/t) à 3,2 t/ha Sulpomag 0-0-22 (%) à 300 Kg/ha	170-122-86 0-0-66	135
2012	Fumier de bovin 3,7-1,9-3,9 (kg/t) à 45 t/ha Actisol 59-35-28 (kg/t) à 1,6 t/ha	166-86-175 94-56-45	125
2013	Actisol 53-38-27 (kg/t) à 3,2 t/ha Sulpomag 0-0-22 (%) à 300 Kg/ha	170-122-86 0-0-66	135
Ripon			
2011	Compost de bovin 3,1-1,7-3,15 (kg/t) à 42 t/ha Actisol 40-30-70 (kg/t) à 2,4 t/ha	130-71-132 ² 96-72-168	116
2012 et 2013	Compost de chèvre 9,7-7,2-15,8 (kg/t) à 38 t/ha	369-274-600	111
St-André-Avellin			
2013	Compost de bovin 3,1-1,7-3,15 (kg/t) à 42 t/ha Actisol 40-30-70 (kg/t) à 2,4 t/ha	130-71-132 96-72-168	116
Fertilisation supplémentaire			
Wickham			
2011	Actisol 40-30-90 à 2,1 t/ha Actisol 40-30-90 à 4,2 t/ha	84-63-190 169-127-380	Traitement 2 : 68 kg Traitement 3 : 135 kg
Ripon			
2011	Actisol 40-30-70 à 2,1 t/ha Actisol 40-30-70 à 4,2 t/ha	84-63-148 169-127-295	Traitement 2 : 68 kg Traitement 3 : 135 kg
Wickham et Ripon			
2012	Farine de plumes 130-0-0 à 0,65 t/ha Farine de plumes 130-0-0 à 1,3 t/ha	84-0-0 169-0-0	Traitement 2 : 68 kg Traitement 3 : 135 kg
Wickham, Ripon et St-André-Avellin			
2013	Farine de plumes 130-0-0 à 0,29 t/ha Farine de plumes 130-0-0 à 0,57 t/ha Fumier granulé 53-35-28 à 1,41 t/ha	38-0-0 74-0-0 74-49-39	Traitement 2 : 30 kg Traitement 3 : 60 kg Traitement 4 : 60 kg

¹ Dans tous les cas, les coefficients de disponibilité de l'azote utilisés ont été de 30% pour le compost et 80% pour le fumier granulé ou la farine de plumes.

² Comme l'analyse du compost nous semblait anormalement basse, nous avons décidé de considérer un apport de N disponible du compost de 60 kg plutôt que de 39 kg. Ceci nous permettait d'éviter de risquer d'apporter une quantité d'azote trop élevée au départ.

Les dates de plantation, de récolte et d'apports de fertilisants sont données dans le Tableau 4.

Tableau 4. Dates de plantation, de récolte et d'apports en fertilisants

Site Année	Date de plantation	Dates de fertilisation					Dates de récolte	
		Avant plantation		Fractionnement			Début	Fin
		Compost	Fumier granulé ou Farine de plumes	1	2	3		
Wickham								
2011	25 mai	s.o.	26 mai	17 juin	1 ^{er} août	18 août	11 août	29 septembre
2012	25 mai	mi-octobre	16 mai	19 juin	17 juillet	6 août	13 août	24 septembre
2013	23 mai	s.o.	22 mai		s.o.		12 août	7 octobre
Ripon								
2011	10 mai	Fin octobre	10 mai	23 juin	14 juillet	18 août	1 août	27 septembre
2012	15 mai	Fin octobre	7 mai	4 juin	4 juillet	28 juillet	30 juillet	1 ^{er} octobre
2013	12 mai	Fin octobre	11 mai		s.o.		29 juillet	2 octobre
St-André-Avellin								
2013	15 mai	Fin octobre	14 mai		s.o.		13 août	24 septembre

VARIABLES MESURÉES

L'ensemble des échantillonnages et des analyses réalisés sur chaque site sont présentés dans les Tableaux 5, 6 et 7 pour les années 2011, 2012 et 2013 respectivement.

Tableau 5. Échantillonnages et mesures réalisés durant la saison 2011 pour les deux sites

Mesures et méthode utilisée s'il y a lieu	Dates de prélèvement Site Wickham	Dates de prélèvement Site Ripon
Sol		
Éléments majeurs et mineurs SSE, salinité, pH au laboratoire et test 2 :1 (Lambert, 2006)	1 ^{er} août, 18 août et 16 septembre	14 Juillet, 10 août et 13 septembre
Analyses foliaires		
Analyse foliaire (N, P, K, Ca, Mg et éléments mineurs)	1 ^{er} août, 18 août et 16 septembre	14 Juillet, 10 août et 13 septembre
Chlorophylle - site Wickham uniquement (Appareil Opti-sciences, modèle CCM-200 plus)	1 ^{er} août, 18 août et 16 septembre	s.o.
Températures journalière		
Thermomètres min-max	relevé journalier	relevé journalier

L'analyse des résultats de 2011 obtenus avec ces mesures nous a permis de conclure que les analyses de sol SSE n'apportaient pas d'information intéressante pour ce projet. Seules des mesures de la salinité, des nitrates et du pH ont été gardées en 2012 et ce, seulement pour la période d'échantillonnage du

mois d'août avant la troisième application d'engrais. Il était attendu que la différence entre les traitements soit plus marquée plus tard en saison lorsque la fourniture d'azote en provenance de l'engrais diminuait en théorie dans le traitement 1.

Suspectant que l'historique d'application de compost d'un site puisse avoir un effet sur la réponse à la fertilisation N, nous avons ajouté des tests de minéralisation de l'azote du sol en 2012. Des échantillons de sol ont été pris en juillet et ont été incubés en conditions contrôlées durant 20 jours. La quantité d'azote minéral (nitrate et ammonium) générée a été mesurée avant incubation, au bout de 10 jours et au bout de 20 jours. La quantité de CO₂, qui reflète le taux d'activité des microorganismes, a aussi été mesurée au bout de 10 et de 20 jours. Afin d'avoir des comparatifs, des échantillons ont aussi été pris sur d'autres sites dont nous connaissons l'historique (sols très pauvres ou très riches).

Tableau 6. Échantillonnages et mesures réalisés durant la saison 2012 pour les deux sites

Mesures et méthode utilisée s'il y a lieu	Date de prélèvement Site Wickham	Date de prélèvement Site Ripon
Sol		
Salinité, nitrates (KCl 2M), pH au laboratoire et test 2 :1 (Lambert, 2006)	6 août	30 juillet
Minéralisation de l'azote et production de CO ₂ (incubation durant 10 et 20 jours), carbone total, azote total et ratio C/N (IRDA)	17 juillet	3 juillet
Analyses foliaires		
Analyse foliaire (N, P, K, Ca, Mg) Méthode d'analyse : métaux sulfurique (IRDA)	17 juillet, 24 août	3 juillet, 4 septembre
Analyse foliaire (N, P, K, Ca, Mg et éléments mineurs) Méthode d'analyse : métaux EPA 3050 (IRDA) (méthode plus précise pour les éléments mineurs)	6 août	30 juillet
Chlorophylle - site Wickham uniquement (Appareil de marque Opti-sciences, modèle CCM-200 plus)	17 juillet, 6 et 24 août	s.o.
Températures journalières minimum et maximum en tunnel et en champ		
Thermomètres à enregistrement continu	relevé continu	Pas de relevés (problème relié aux thermomètres)

Des corrélations ont été établies entre les données suivantes :

- la salinité mesurée au laboratoire (SL) et la salinité mesurée sur le terrain (SM);
- la salinité mesurée au laboratoire (SL) et les teneurs SSE en nitrates;
- la salinité mesurée sur le terrain (SM) et les teneurs SSE en nitrates.

Comme les résultats obtenus avec la mesure de la chlorophylle en 2011 et 2012 n'avaient aucun lien avec la fertilisation, cette dernière a été abandonnée en 2013. Par contre, deux autres mesures potentiellement pertinentes ont été ajoutées. La première a été la capacité de minéralisation du fumier granulé (5% de N) et de la farine de plumes (13% de N). Dosés pour avoir une teneur initiale similaire en N total, les deux produits ont été incubés dans 5 grammes de sol.

La méthode d'analyse de sol préconisée par l'Université Cornell (Gugino et al, 2009) a aussi été testée en 2013. Cette méthode prend en compte les propriétés suivantes :

- physiques : stabilité des agrégats, capacité de rétention de l'eau disponible et résistance du sol à la pénétration à deux profondeurs (cette dernière mesure est faite sur le terrain par nous-mêmes);
- biologiques : pourcentage de matière organique, carbone actif et azote potentiellement minéralisable. Cette dernière mesure est très différente de la méthode d'incubation réalisée par l'IRDA et qui est présentée dans ce document.
- Chimiques : pH, phosphore et éléments mineurs

Tableau 7. Échantillonnages et mesures réalisés durant la saison 2013 pour les trois sites

Mesures et méthode utilisée s'il y a lieu	Date de prélèvement Site Wickham	Date de prélèvement Site Ripon	Date de prélèvement Site St-André-Avellin
Sol			
Éléments majeurs et mineurs	22 mai	24 avril	24 avril
Minéralisation de l'azote et production de CO ₂ (incubation durant 10 et 20 jours), carbone total, azote total et ratio C/N (IRDA)	22 mai	11 mai	14 mai
Analyse de Cornell	22 mai	24 avril	24 avril
Analyses foliaires			
Analyse foliaire (N, P, K, Ca, Mg) Méthode d'analyse : métaux sulfurique (IRDA)	21 juin, 24 juillet	10 juin, 12 juillet	s.o.
Analyse foliaire (N, P, K, Ca, Mg et éléments mineurs) Méthode d'analyse : métaux EPA 3050 (IRDA) (méthode plus précise pour les éléments mineurs)	s.o.	s.o.	15 juin, 15 juillet
Températures en tunnel et en champ			
Thermomètres à enregistrement continu	Relevé continu	Pas de relevés (problème relié aux thermomètres)	Relevé continu

Les relevés de température sont présentés en annexe III. Les thermomètres à enregistrement continu installés sur le site Ripon en 2012 et 2013 n'ont pas fonctionné.

Au cours des trois années, une évaluation visuelle du développement de la culture, de la présence de maladie (pourcentage de surface foliaire attaquée, identification de la maladie), de désordre physiologique ou de carences a également été effectuée à plusieurs reprises durant la saison.

Le poids de chaque récolte a été compilé par parcelle pour obtenir le rendement de chaque traitement. Le rendement commercialisable a été établi selon les critères de chaque ferme participant au projet.

L'étude coûts-bénéfices complète a été faite en fin de projet. Elle considère le coût des intrants, de la production en grands tunnels et les rendements commercialisables (*lien*).

RÉSULTATS

RENDEMENTS

Les données de rendements totaux et commercialisables des trois années pour tous les sites sont présentées dans le Tableau 8. Le rendement commercialisable correspond au rendement total moins les fruits déclassés. Les fruits ont été déclassés pour des raisons différentes sur chaque ferme. En 2011 au site de Ripon, c'était surtout le fendillement qui affectait les tomates tandis qu'au site de Wickham, c'était plutôt l'antracnose. En 2012, le déclassé était surtout dû à un mûrissement inégal au site de Wickham alors qu'au site de Ripon, il était dû à l'aspect des fruits (taille, régularité). En 2013, le fendillement était responsable du déclassé à Wickham, par contre à Ripon et à St-André-Avellin, il y a eu très peu de déclassé.

Tableau 8. Rendements en tomates selon la dose d'azote
(effet significatif à $P \leq 0.05$ pour Wickham en 2011 - les chiffres suivis de lettres différentes sont statistiquement différents avec $P < 0.05$)

Traitement	Kg total/m ²	Kg vendable/m ²	% fruits vendables
Wickham			
2011 – variété: Mountain Fresh			
135 kg N/ha	6,9 a	5,3 a	77
195 kg N/ha	9,4 b	7,7 b	82
270 kg N/ha	9,2 b	8,2 b	89
2012 – variété : Celebrity			
135 kg N/ha	8,5	5,0	59
195 kg N/ha	8,3	5,7	69
270 kg N/ha	9,0	5,7	63
2013 – variété : BHN 589			
135 kg N/ha	12,5	9,6	77
165 kg N/ha	11,8	8,6	73
195 kg N/ha - Farine	12,4	9,6	77
195 kg N/ha - Fumier granulé	12,4	10,0	81
Ripon			
2011 – variété : Oregon			
135 kg N/ha	11,6	8,3	72
195 kg N/ha	11,2	8,6	77
270 kg N/ha	11,7	8,8	75
2012 – Defiant			
Moyenne ¹	6,6-11,2	4,8-9,2	73-82
2013 – BHN 826			
135 kg N/ha	12,7	11,5	91
165 kg N/ha	13,1	11,9	91
195 kg N/ha - Farine	13,6	12,1	89
195 kg N/ha - Fumier granulé	13,4	12,0	90
St-André-Avellin			
2013 – variété : Arbason			
135 kg N/ha	6,6	6,3	95
165 kg N/ha	5,7	5,4	95
195 N/ha - Farine	6,8	6,4	94

¹ Moyenne des parcelles avec le problème d'irrigation (bloc 2) versus sans le problème d'irrigation (deux dernières parcelles du bloc 3)

L'évaluation de rendements révèle que l'augmentation de fertilisation azotée n'a entraîné une hausse de rendement qu'au site de Wickham en 2011, et ce, pour la dose de 195 kg N/ha. En ce qui concerne la comparaison entre les engrais de farine de plumes et de fumier granulé effectuée en 2013, les rendements n'affichent aucune différence. Un autre essai (subvention du CRSNG – données non publiées) a été mené sur les mêmes sites (Wickham et Ripon) pour la tomate en 2011 et 2012 avec des doses de fertilisants azotés similaires à celles décrites ici pour 2013. Il n'y a eu aucun effet significatif relié à la fertilisation.

La différence de réponse à l'augmentation de fertilisation aux sites Wickham et Ripon en 2011 pourrait s'expliquer en partie par l'historique de fertilisation plus importante à base de compost et d'une rotation comprenant beaucoup d'engrais verts au site Ripon.

Il est à noter qu'au site Ripon, un problème important est survenu en juillet 2012. Le tuyau d'irrigation s'est bouché dans une partie des parcelles de recherche et comme il est placé sous le paillis plastique, le problème n'a été détecté qu'au bout de trois semaines (tous les autres tuyaux fonctionnaient et les parcelles commençaient seulement au milieu de la plate-bande). Les fruits sont restés petits, sauf sur les deux dernières parcelles qui étaient situées un peu plus bas que les autres. Il s'est avéré que ce problème était relié à la qualité des tuyaux d'irrigation. Lorsqu'il y a une pente, une bulle d'air peut se former dans le tuyau et bloquer le passage de l'eau. D'autres tuyaux, de meilleure qualité, ont été installés par la suite.

En 2013, il y a eu une augmentation globale des rendements sur les sites Wickham et Ripon par rapport aux années précédentes. Le choix de variétés peut expliquer en partie cette augmentation, en particulier au site Ripon où les plants avaient été greffés. Des facteurs de régie sont aussi probablement en cause. Au site Wickham, le sol était compacté et un sous-solage fait à l'automne 2012 pourrait être responsable d'une partie de l'augmentation. Au site Ripon, la régie d'irrigation a été améliorée et pourrait expliquer une partie de l'augmentation. Les rendements étaient beaucoup plus faibles sur le site St-André-Avellin, ce qui semble avoir été dû à une irrigation insuffisante. La fréquence d'irrigation était relativement faible et les tomates très petites, ce qui est un signe de manque d'eau. Le plastique du tunnel a aussi été arraché par le vent au mois d'août et un nouveau plastique n'a été remis que deux semaines après.

Il semble donc que plusieurs éléments de régie tels que le choix de variétés, l'irrigation et la gestion de l'état du sol sont plus importants que la fertilisation dans l'obtention de rendements optimaux en grands tunnels. Il n'y aurait ainsi pas d'avantages à augmenter la dose d'azote par rapport à celle recommandée pour la tomate en champ. La réponse du sol à l'augmentation de fertilisation pourrait aussi varier selon son niveau de fertilité de départ. Pour vérifier cette relation, différentes analyses ont été planifiées afin de déterminer si l'une ou plusieurs d'entre elles pouvaient permettre d'expliquer les résultats de rendements et devenir un indicateur pour la gestion de la fertilisation.

ANALYSES DE SOL

NITRATES DU SOL

ANNÉE 2011

En 2011, les nitrates SSE ont été mesurés mensuellement aux deux sites. Tel que l'illustre la Figure 2, les résultats étaient assez variables sur le site Wickham et ne permettaient pas de dégager de tendances claires. Pour le site Ripon, il y avait un effet significatif des traitements sur la teneur en nitrates du sol seulement pour le mois d'août. Lorsque l'on compare les résultats des deux sites, les nitrates étaient étonnamment plus hauts en juillet et août au site Wickham qu'au site Ripon, alors que les rendements étaient globalement inférieurs à ceux obtenus sur ce site. Toutefois, les nitrates étaient plus bas en septembre.

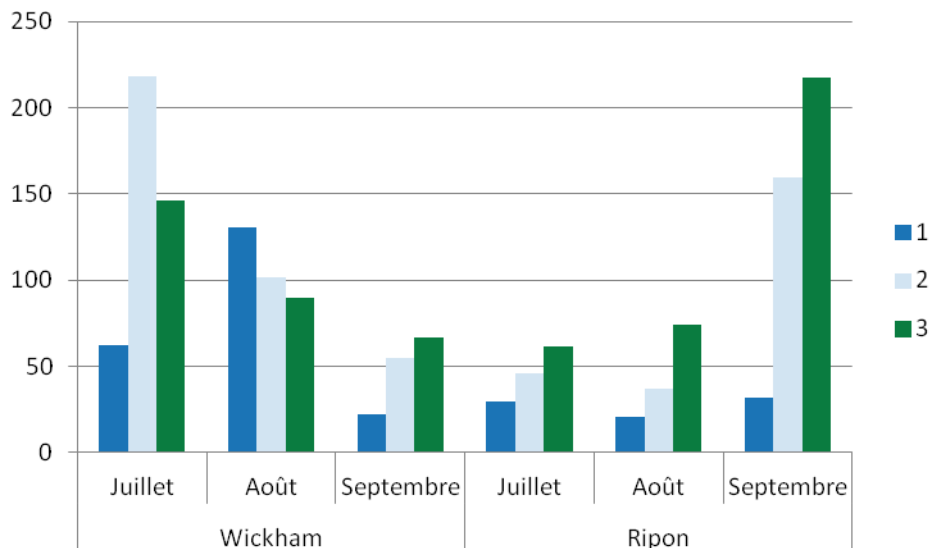


Figure 2. Teneur en nitrates du sol aux sites Wickham et Ripon, en juillet, août et septembre 2011 (effet significatif à $P \leq 0.05$ pour Ripon en août)

(Légende : 1 = 135 kg de N/ha, 2 = 195 de N/ha, 3 = 270 de N/ha)

Une interprétation possible de ces résultats est que, au site Wickham, les plants prélevaient l'azote du sol plus modérément et plus tard en saison qu'au site Ripon. Leur croissance aurait été limitée par d'autres facteurs tels que la structure massive du sol alors qu'au site Ripon, le prélèvement intensif des plants aurait maintenu les teneurs en nitrates plus basses. En septembre, elles auraient augmenté puisque le développement des plants atteint son apogée et nécessite alors moins d'azote.

ANNÉE 2012

En 2012, un échantillonnage pour les nitrates a été fait début-août seulement. Malgré une tendance à l'augmentation dans les traitements 2 et 3 dans lesquels de la farine de plumes avait été ajoutée, il n'y a pas eu de différences statistiques entre les traitements.

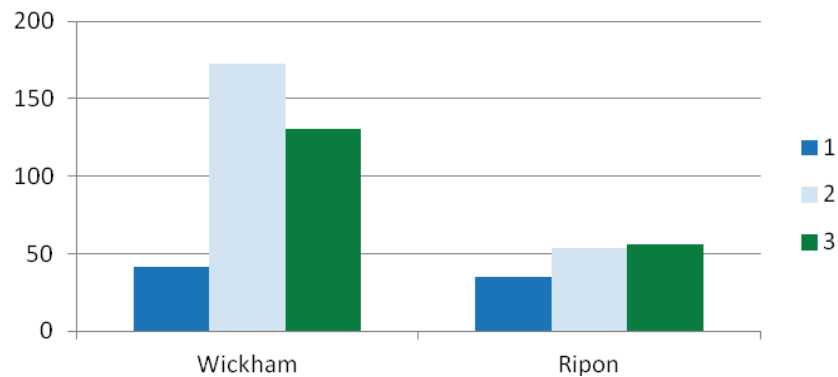


Figure 3. Teneur en nitrates du sol aux sites Wickham et Ripon en août 2012 (pas de différence statistique).

(Légende : 1 = 135 kg de N/ha, 2 = 195 de N/ha, 3 = 270 de N/ha)

ANNÉE 2013

L'analyse des nitrates n'a pas été poursuivie en 2013 dû au manque de résultats concluants dans les années précédentes. Cette donnée semble difficile à interpréter car lorsque la plante pousse peu les nitrates sont abondants et lorsque qu'elle pousse bien ils sont en faibles quantités. La quantité de nitrate est donc le résultat d'une interaction entre le taux de croissance de la plante, la quantité de d'azote apportée lors de la fertilisation et le sol. Une telle mesure est utile dans un système de culture intensif dans lequel les paramètres de croissance sont mieux contrôlés (serres, tunnels minimalement chauffés...).

CAPACITÉ DE MINÉRALISATION DU SOL ET RAPPORT C/N

Il nous a été suggéré par une experte en fertilisation, Madame Christine Landry de l'IRDA, que certaines analyses qui permettent de caractériser le sol pourraient sans doute servir d'informateur en matière de fertilité du sol. Des tests d'incubation ont donc été pratiqués sur différents échantillons de sol. Il est à noter qu'aucune analyse statistique des résultats n'a été faite en ce qui concerne ces mesures; il s'agissait d'un travail exploratoire.

QUANTITÉ D'AZOTE MINÉRALISÉE DURANT L'INCUBATION POUR CHAQUE SITE

Afin de pouvoir mieux interpréter les résultats sur la quantité d'azote minéralisé durant incubation, des échantillons de sol ont aussi été pris dans des sites connus comme étant très pauvres ou très riches. Les résultats pour chacun des sites sont présentés dans les figures suivantes. Les caractéristiques des sites échantillonnés en 2012 et en 2013 sont données dans les Tableaux 9 et 10 respectivement.

Tableau 9. Caractéristiques des sites échantillonnés en 2012 pour la mesure de l'azote minéralisé par incubation

Site	Caractéristique
Wick (site Wickham)	Loam sableux; peu d'apports de compost ou de fumier les années précédentes
Rip (site Ripon)	Loam sableux; apports fréquents et importants de compost les années précédentes
Rich	Loam sableux; apports fréquents et très importants de compost les années précédentes
Pdt	Sable loameux; aucun apport de fumier ou de compost les années précédentes, mais rotation avec 2 ans d'engrais vert et un an de pomme de terre; fertilisation en mode conventionnel
Pauv-T	Sable loameux; en prairie non exploitée; aucun apport de fumier ou de compost les années précédentes; aucune fertilisation
Pauv-R (site Ripon)	Loam sableux en prairie non exploitée; Aucun apport de fumier ou de compost les années précédentes; aucune fertilisation

La Figure 4 interprétée à la lumière du Tableau 9 permet de voir que la quantité d'azote minéralisée est relative à l'historique d'apport de fumier ou de compost. La différence entre le site Ripon et le site Wickham est toutefois faible. Il est possible qu'une partie de l'azote ait déjà été minéralisée avant de commencer les tests d'incubation car les échantillons ont été pris le 24 juillet au site Wickham et le 5 juillet au site Ripon. Il faudrait toutefois beaucoup plus d'échantillons pour pouvoir faire une analyse statistique. Cette méthode semble avoir un potentiel intéressant pour caractériser le site et son niveau de fertilité.

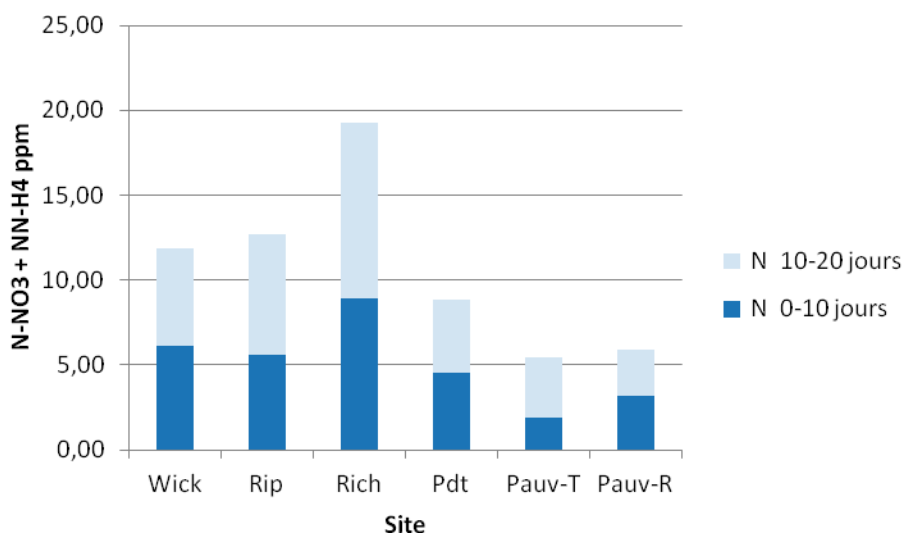
**Figure 4. Quantité produite de N-NO3 et N-NH4 dans les sols incubés 10 et 20 jours en 2012**

Tableau 10. Caractéristiques des sites échantillonnés en 2013 pour la mesure de l'azote minéralisé par incubation

Site	Caractéristique
Wick (site Wickham)	Tunnel - Loam sableux; peu d'apports de compost ou de fumier les années précédentes
Wick-Pauv (site Wickham)	Loam sableux pauvre nouvellement mis en culture; très vieille prairie remise en culture
Rip (site Ripon)	Tunnel - Loam sableux; apports fréquents et importants de compost les années précédentes
Rip-Ch (site Ripon)	Champ à côté du tunnel – historique similaire au tunnel mais avec plus d'engrais verts dans la rotation
Ave-Tun (Site St-André Avellin)	Tunnel - Loam sableux
Ave –Rich (Site St-André Avellin)	Loam sableux très riche en matière organique
Ave -Pauv (Site St-André Avellin)	Loam sableux pauvre, faible en matière organique mais fortement amendé avec du fumier
Pauv-T	Loam sableux très pauvre

En 2013, contrairement à 2012, les échantillons ont été pris mi-mai, avant que ne se fasse la majeure partie de la minéralisation de l'azote du sol, ce qui pourrait expliquer la quantité d'azote minéralisée globalement supérieure en 2013 comparativement à l'année 2012. La Figure 5 interprétée à la lumière du Tableau 10 permet de constater à nouveau que ces résultats expriment assez bien la fertilité des sols basée sur l'historique de fertilisation. La variation de la quantité d'azote minéralisée en fonction de l'année pour les sites Ripon et Wickham, indique qu'il faut mieux connaître ce test et les conditions d'utilisation avant de l'utiliser de façon plus régulière dans la gestion de la fertilisation

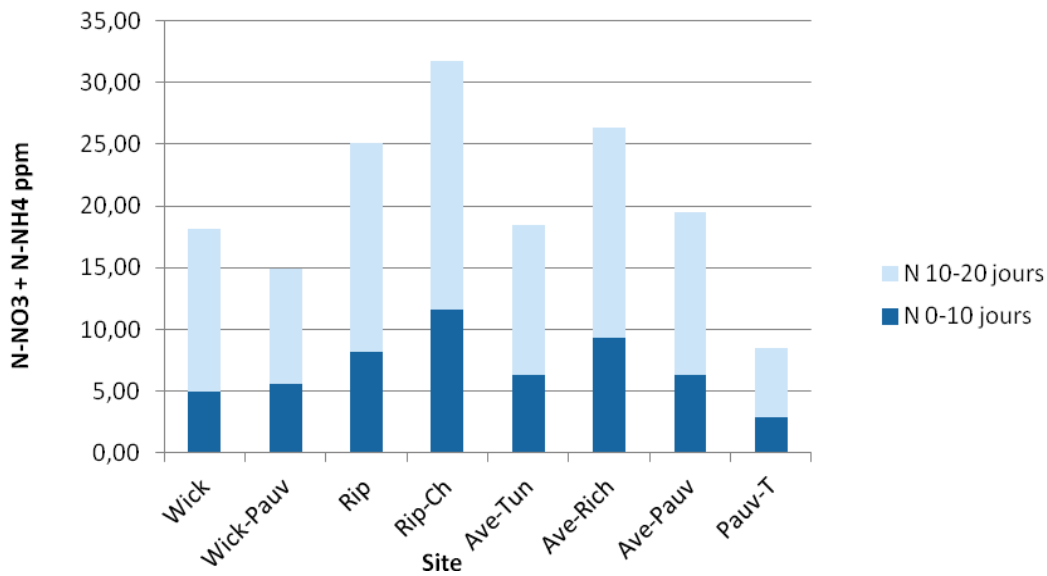


Figure 5. Quantité produite de N-NO3 et N-NH4 dans les sols incubés 10 et 20 jours en 2013

QUANTITÉ DE CO² PRODUITE DURANT L'INCUBATION POUR CHAQUE SITE

Les résultats 2012 concernant la quantité de CO² émise lors de l'incubation ne reflètent pas bien la différence de fertilité entre les fermes, tel qu'illustrés dans la Figures 6. Les sites pauvres affichent des taux de respiration similaires à ceux du site Ripon. Le site Wickham, moins fertile que le site Ripon, a aussi un taux de respiration plus élevé que celui de Ripon.

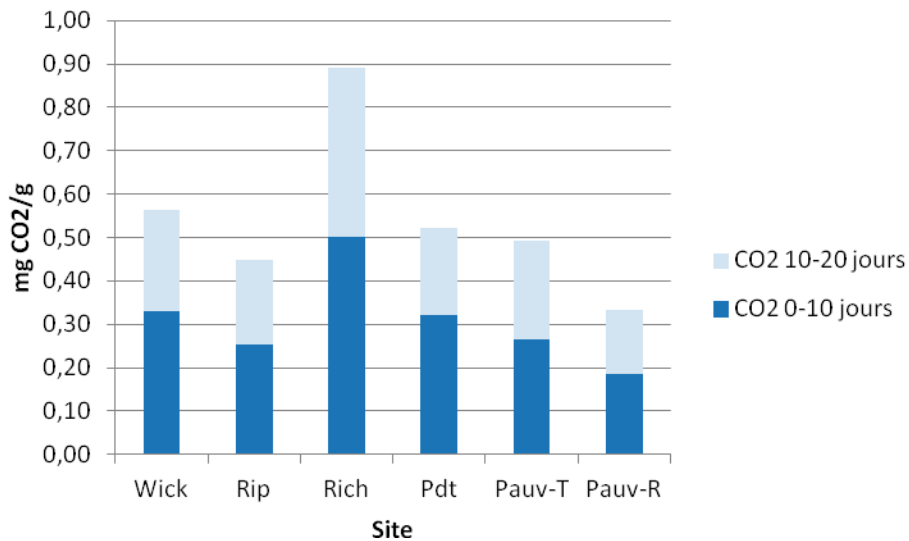


Figure 6. Quantité produite de CO₂ durant l'incubation des sols en 2012

En 2013, les résultats semblent mieux reliés à la quantité d'azote minéralisée par incubation sauf pour Wick-Pauv pour lequel l'activité biologique semble beaucoup plus élevée. Ce phénomène est peut être relié à la grande quantité de matière organique fraîche incorporée l'année précédente dans ce sol.

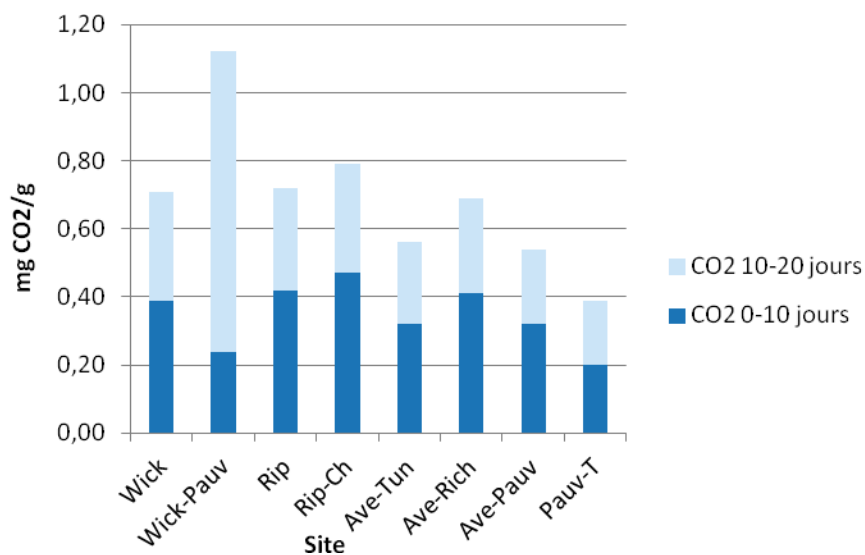


Figure 7. Quantité produite de CO₂ durant l'incubation des sols en 2013

QUANTITÉ DE CARBONE ET D'AZOTE POUR CHAQUE SITE

Les quantités de carbone et d'azote totales ont aussi été mesurées pour les différents sites afin de connaître le ratio C/N du sol. Il n'y avait pas de différence importante entre les sites en ce qui concerne le ratio C/N. Les quantités de carbone et d'azote totales sont indiquées dans les Figures 8 et 9. En 2012, sauf pour le site Pauv-R, les teneurs en C et N varient de la même façon que la quantité d'azote minéralisé après incubation. En 2013, cette tendance se maintient sauf pour les sols du site Ripon pour lesquels la quantité d'azote total du sol est plus faible par rapport à la quantité d'azote minéralisé. Il est possible que ce sol contienne plus d'azote facilement minéralisable que les autres à cause des apports plus fréquents de composts.

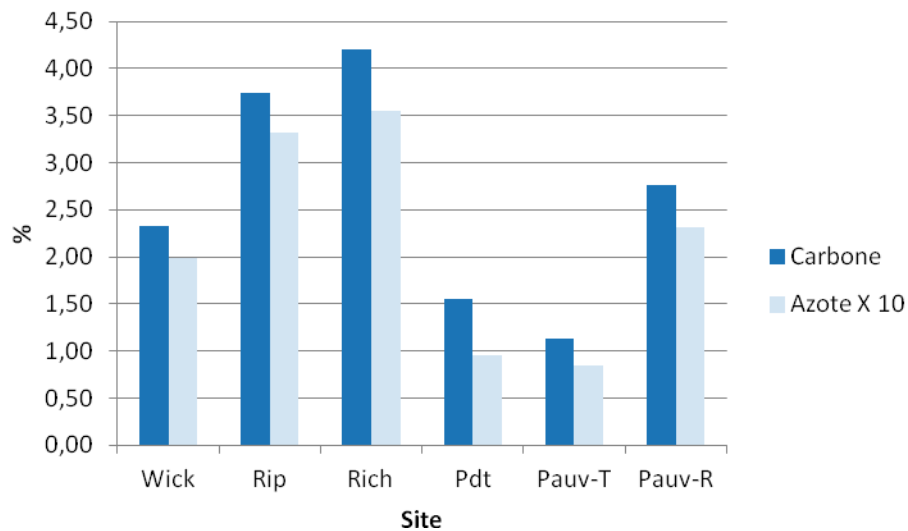


Figure 8. Teneur en carbone total et en azote du sol en 2012 (pour faciliter la lecture du graphique, les valeurs d'azote (%) ont été multipliées par 10).

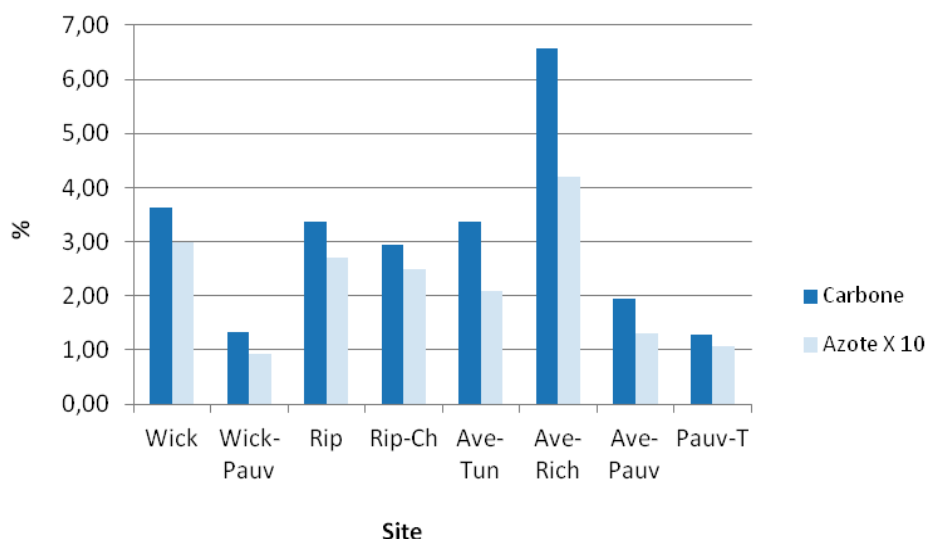


Figure 9. Teneur en carbone total et en azote du sol en 2013 (pour faciliter la lecture du graphique, les valeurs d'azote (%) ont été multipliées par 10).

COMPARAISON DU TAUX DE MINÉRALISATION DU FUMIER GRANULÉ ET DE LA FARINE DE PLUMES

En 2013, il a été jugé pertinent d'étudier la minéralisation du fumier granulé et de la farine de plumes à l'aide d'un test d'incubation. Plusieurs observations de producteurs nous indiquaient en effet que le fumier granulé se minéralise plus rapidement que la farine de plumes. L'analyse des deux engrais faite avant le début de l'incubation a permis de constater que le fumier granulé contenait 2,5% d'azote minéral et la farine de plumes 1,6%. Les résultats de l'incubation sont présentés dans les deux tableaux suivants.

Tableau 11. Quantité produite de N-NO₃ et N-NH₄ dans un sol contenant soit du fumier granulé soit de la farine de plumes incubé 10 et 20 jours

Engrais	N minéral			Minéralisation	
	0 jour	10 jours	20 jours	10 jours	20 jours
	µg	µg	µg	%	%
Fumier granulé	49	647	638	47	46
Farine de plumes	19	728	787	55	59

Les chiffres démontrent que le taux de minéralisation de la farine est supérieur à celui du fumier granulé après 10 et 20 jours. On remarque toutefois qu'au jour 0, l'échantillon avec le fumier granulé contient plus de nitrates et d'ammonium que la farine de plumes. C'est probablement pour cette raison que le fumier granulé semble avoir un effet plus rapide au champ. Il faut aussi considérer le fait que les conditions de minéralisation sont idéales en laboratoire. Au champ, la farine de plumes ne se dissout pas facilement dans le sol si elle est mal mélangée, ce qui n'est pas le cas du fumier granulé. Un test de

nitrate et d'incubation a aussi été réalisé deux mois après l'implantation et la fertilisation des parcelles, soit le 24 juillet 2013 pour le sol provenant des traitements 3 et 4 (195 kg N/ha de farine de plumes et de fumier granulé respectivement). Il n'y a pas eu de différence statistique entre les traitements pour la quantité d'azote minéralisable après 10 ou 20 jours d'incubation (Figure 10). Ces mesures permettent de constater la grande variabilité de la quantité d'azote minéralisable dans une même plate-bande, soit 10 à 25 ppm pour un même traitement).

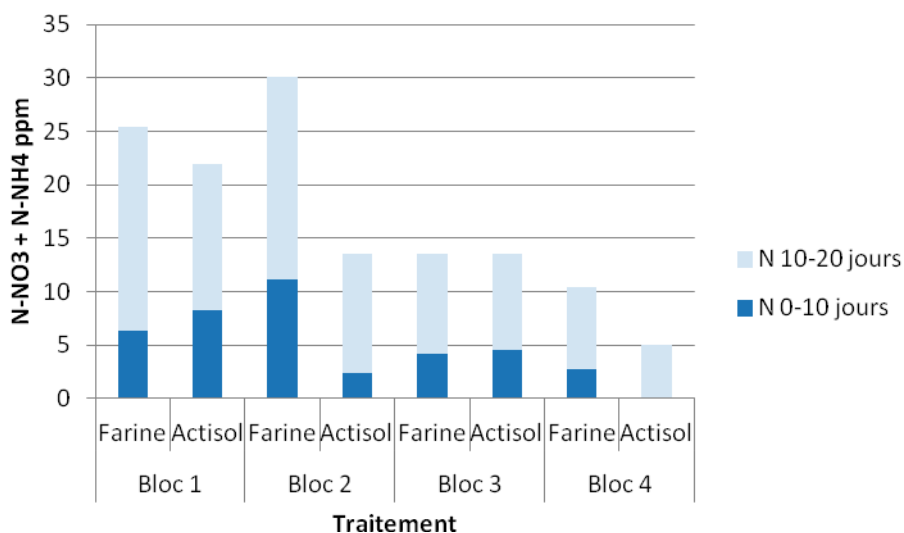


Figure 10. Quantité produite de N-NO₃ et N-NH₄ dans les sols incubés 10 et 20 jours pour les traitements 3 et 4 sur le site de Wickham en 2013

SALINITÉ MESURÉE AU LABORATOIRE ET AVEC LE TEST 2 : 1 ET NITRATES

Les nitrates représentent en grande partie ce qui est mesuré par un test de salinité. Ces mesures ont été prises et corrélées pour vérifier qu'un test de salinité effectuée à la ferme (le test 2 :1) est suffisant pour estimer les nitrates du sol sans avoir à envoyer des échantillons en laboratoire.

ANNÉE 2011

Les régressions linéaires réalisées entre les tests de salinité et de nitrates, ainsi que les coefficients de détermination (R^2) de ces régressions, sont présentés au Tableau 12. Les différents graphiques sont en annexe. Toutes les corrélations étaient élevées pour le site Ripon et faibles pour le site Wickham. Nous n'avons pas d'explication pour cette différence entre les deux sites. Cela porte à croire que les facteurs de proportionnalité entre les deux façons de mesurer la salinité peuvent varier d'une ferme à l'autre et qu'il faut donc être prudent avant de généraliser l'emploi de cette méthode. Le type de sol modifie probablement la relation.

Tableau 12. Régressions entre la salinité mesurée au laboratoire (SL), la salinité mesurée sur le terrain (SM) et les teneurs en nitrates SSE (NO₃) du sol – saison 2011

Site Wickham		Site Ripon	
Équation	R ²	Équation	R ²
SL = 0,9 + 2 SM	0,5	SL = 0,2 + 2,5 SM	0,83
NO ₃ = 51 + 92 SM	0,2	NO ₃ = 10 + 289 SM	0,87
NO ₃ = 7 + 45 SL	0,3	NO ₃ = 10 + 107 SL	0,92

Note : Des graphiques illustrant ces régressions sont présentés en annexe.

ANNÉE 2012

Les régressions linéaires et coefficients de détermination (R²) sont donnés dans le Tableau 13. Les différents graphiques sont en annexe. Contrairement à 2011, toutes les corrélations étaient élevées pour le site Wickham et faibles pour le site Ripon. Comme pour 2011, nous n'avons pas d'explication pour cette différence entre les deux sites. Par contre, la corrélation entre la salinité mesurée au laboratoire et les nitrates est assez similaire entre les deux sites.

Tableau 13. Régressions entre la salinité mesurée au laboratoire (SL), la salinité mesurée sur le terrain (SM) et les teneurs en nitrates du sol (NO₃) - 2012

Site Wickham		Site Ripon	
Équation	R ²	Équation	R ²
SL = -0,1 + 1,57 SM	0,93	SL = 0,15 + 0,42 SM	0,57
NO ₃ = -50 + 371 SM	0,88	NO ₃ = 22 + 93 SM	0,55
NO ₃ = -27 + 242 SL	0,99	NO ₃ = -12 + 221 SL	0,97

Note : Des graphiques illustrant ces régressions sont présentés en annexe.

Il n'a pas semblé nécessaire de continuer la comparaison de la salinité faite au laboratoire et à la ferme (salinité « maison »). Les régressions linéaires et les coefficients de déterminations qui ont été établis varient avec l'année et la ferme et il n'est pas possible de statuer sur une tendance générale. Il n'apparaît donc pas très fiable d'estimer les nitrates par un test de salinité « maison ».

ANALYSES DE CORNELL

Il était souhaité que le diagnostic obtenu de cette approche développée par l'Université de Cornell dans l'état de New-York permette de mieux cibler les besoins en fertilisation en fonction du sol. Comme pour le test de minéralisation, afin d'avoir des comparatifs, des échantillons ont aussi été pris sur d'autres sites dont nous connaissons l'historique (sols très pauvres ou très riches).

Seules les caractéristiques physiques et biologiques ont été retenues pour analyser les résultats de la méthode Cornell. Les analyses chimiques sont similaires à ce que nous avons déjà. Les mesures de résistance à la pénétration, qui font partie des caractéristiques physiques, n'apportent pas beaucoup d'information supplémentaire. Sur les sites testés, les résultats étaient assez faibles dans la couche

travaillée et dépassaient presque toujours 300 psi dans la couche sous-jacente sauf quand le sol a été sous-solé. Les valeurs de résistance à la pénétration dans les sables sont souvent élevées à cause de la friction importante occasionnée par le sable. Elles indiquent donc des sols compacts qui ne le sont pas en réalité. Il est préférable de faire un profil de sol pour évaluer la compaction. L'ensemble des résultats de la méthode Cornell est présenté en annexe II.

Les caractéristiques des sites échantillonnés en 2013 sont présentées dans le Tableau 14. Un examen visuel de la structure a été réalisé et ces champs ont été suivis durant plusieurs années. Plusieurs sites sont les mêmes que ceux des tableaux 9 et 10. Deux sites avec des sols contenant plus d'argile ont été rajoutés (RA et AU) pour avoir une gamme plus complète de sols.

Tableau 14. Caractéristiques des sites échantillonnés pour les analyses de Cornell en 2013.

Site	Caractéristique
Wick (site Wickham)	Loam sableux; peu d'apports de compost ou de fumier les années précédentes; peu structuré; sous-solé
Rip (site Ripon)	Loam sableux; apports fréquents et importants de compost les années précédentes; moyennement structuré; sous-solé
Rich	Loam sableux; apports fréquents et très importants de compost les années précédentes; bien structuré
Pdt	Sable loameux; aucun apport de fumier ou de compost les années précédentes, mais rotation avec 2 ans d'engrais vert et un an de pomme de terre; structure amorphe, très compact entre 20 et 30 cm
RA	Loam limoneux ayant une excellente structure et un excellent taux d'infiltration; non compact (le sol ressemble plutôt à un loam argileux)
AU	Argile massive extrêmement compacte

Note : les quatre premiers sols sont les mêmes que ceux utilisés pour les tests d'incubation en 2012 et 2013.

Le potentiel de rendement de ces sols selon notre connaissance des sites et la note résultant des analyses physiques et biologiques selon les analyses de Cornell sont données dans le tableau suivant.

Tableau 15. Sol Classé selon les observations sur le terrain (profils de sol et rendements) et résultats de Cornell (note globale et résultats d'analyses)

Sol classé du meilleur au pire ¹	Note globale de Cornell ²	Agrégation (%)	Capacité de rétention de l'eau	Matière organique %	Carbone actif	Azote Minéralisable
Rich	81	82	0,21	5,5	774	17,3
RA	57	32	0,18	4,1	967	7,2
Rip	85	63	0,31	5,7	718	22,3
Wick	77	51	0,14	5,2	879	9,2
Pdt ³	59	47	0,11	2,4	381	14,2
AU ³	35	42	0,18	4,1	967	7,7

1 Classé selon les observations sur le terrain : profils de sol et rendements

2 Note sur 100 basée sur les critères biologiques et physiques

3 Une fois décompacté, le potentiel de rendement de AU peut être élevé, plus que les sols sableux

Plusieurs constatations peuvent être faites à la lumière de ces résultats :

- La note globale ne reflète pas très bien la réalité observée sur le terrain;
- La stabilité des agrégats telle qu'évaluée dans ces analyses ne reflète pas forcément l'état structural du sol : les sols bien structurés et dont la structure est durable sont Rich et RA. Les sols n'ayant presque aucune structure, en grande partie à cause du pourcentage élevé de sable, sont Rip, Wick et Pdt. Le sol Wick s'affaisse tout seul durant la saison et nécessite une décompactation régulière. La structure du sol Pdt est amorphe (pas de structure). Le sol AU est une argile très compacte. Une fois décompacté, un tel sol a une bonne structure stable. Cette mesure est faite sur des agrégats qui ont été tamisés et ont une taille entre 0,5 mm et 2 mm, ce qui ne permet pas de connaître la quantité d'agrégats par rapport à l'ensemble du sol. Les sols sableux avaient probablement moins de 20 % d'agrégats au départ alors que les sols argileux avaient 100% d'agrégats, la plupart de plus de 2 mm.
- La capacité de rétention en eau est plus difficile à évaluer sur le terrain. Il n'est pas possible d'expliquer pourquoi cette dernière est élevée sur Rip qui est un sol assez léger alors qu'elle plus faible sur des sols plus argileux comme RA et AU;
- Les deux fermes qui ont eu le plus d'engrais vert et de compost dans leur historique sont Rich et Rip. On s'attendrait donc à ce que le carbone actif soit plus élevé, ce qui n'est pas le cas. Par contre, il est logique que le sol Pdt qui a été très travaillé, au point de perdre beaucoup de matière organique avec peu de carbone actif. Sur le terrain, ce sol nécessite une très importante fertilisation azotée pour donner du rendement, ce qui n'est pas le cas de Rich, Rip et RA. Ces derniers sols peuvent donner des assez bons rendements sans aucune fertilisation.
- En ce qui concerne l'azote potentiellement minéralisable, à moins d'apport d'amendement avec un ratio C/N très élevé, on s'attendrait à ce que cette mesure varie de la même façon que le carbone actif, ce qui n'est pas le cas ici. Alors que le carbone actif est le plus élevé pour RA et AU, l'azote potentiellement minéralisable est le plus faible. On peut se demander si la texture biaise cette mesure car il s'agit des deux sols les plus argileux du groupe. L'azote potentiellement minéralisable est élevé pour Rich et Rip, ce qui correspond à nos observations sur le terrain et à l'historique de fertilisation de ces sols. Par contre l'azote potentiellement minéralisable plus élevé pour Pdt que pour Wick n'est pas explicable. D'ailleurs ces résultats ne concordent pas avec les tests d'incubation de 2012 (Figure 4) qui affichaient Rich > Rip > Wick > Pdt ni ceux de 2013 qui affichaient Rich > Rip > Wick.

À la lumière de ces observations, ces analyses semblent difficilement utilisables, au moins en partie, pour compléter l'information sur la fertilité de ces sols.

ANALYSES FOLIAIRES

Les moyennes des résultats d'analyse foliaire par site sont présentées dans le Tableau 16. Les teneurs en phosphore et en calcium foliaires sont basses pour les trois sites lors des trois années. Celles en azote, potassium et zinc sont aussi basses pour le site de Wickham en 2011 et en 2012. En 2013 toutefois, une

quantité plus importante de potassium a été appliquée au site Wickham, ce qui a permis d'augmenter la teneur foliaire en cet élément.

Tableau 16. Moyennes des analyses foliaires par site et par année

	N %	P %	K %	Ca %	Mg %	Mn ppm	Zn ppm
Valeurs souhaitées pour la tomate ¹	3,5-5,1	0,5-0,8	3-6	4-6	0,31-1	31-100	26-80
Wickham							
2011	2,5	0,24	2,5	2,6	0,43	69	17
2012	2,6	0,23	2,5	3,3	0,66	107	19
2013	4,8	0,27	3,5	3,2	0,78	nd	nd
Ripon							
2011	3,2	0,20	3,5	2,6	0,70	83	38
2012	3,2	0,20	2,8	2,2	0,96	81	35
2013	3,9	0,37	4,9	1,8	0,51	nd	nd
St-André-Avellin							
2013	4,0	0,35	3,4	1,6	0,42	81	56,0

¹CRAAQ 2011

En 2011, sur le site Wickham, une augmentation de fertilisation avait entraîné une augmentation significative de l'azote (Figure 11) et du potassium foliaire. Ceci concorde avec la hausse de rendement obtenu à ce site en 2011 avec les apports de fumier granulé. Au site Ripon, où la fertilisation n'a pas eu d'impact sur les rendements, aucun effet significatif de la fertilisation sur les éléments foliaires n'a été mesuré, sauf pour le potassium au mois d'août.

En 2012, sur le site Wickham, une augmentation de fertilisation a entraîné une augmentation de l'azote en juillet, août et septembre, mais cette augmentation était significative en septembre uniquement (Figure 12). La hausse de rendement observée n'était d'ailleurs pas significative. Au site Ripon, il n'y avait pas eu d'effet significatif de la fertilisation sur l'azote foliaire tout comme sur les rendements.

En 2013, une augmentation de fertilisation n'a pas entraîné d'augmentation d'azote, si ce n'est que sur le site Wickham en juillet (Figure 13) où les traitements 3 et 4 (195 kg N/ha de farine de plumes et de fumier granulé respectivement) se démarquent statistiquement des doses de 135 et de 165 kg N/ha. Pourtant, il n'y a pas eu d'augmentation de rendement pour ces deux traitements. Aux sites St-André-Avellin et Ripon, il n'y a pas eu d'effet significatif de la fertilisation sur l'azote foliaire. Aucune variation significative des rendements n'avaient d'ailleurs été constatée.

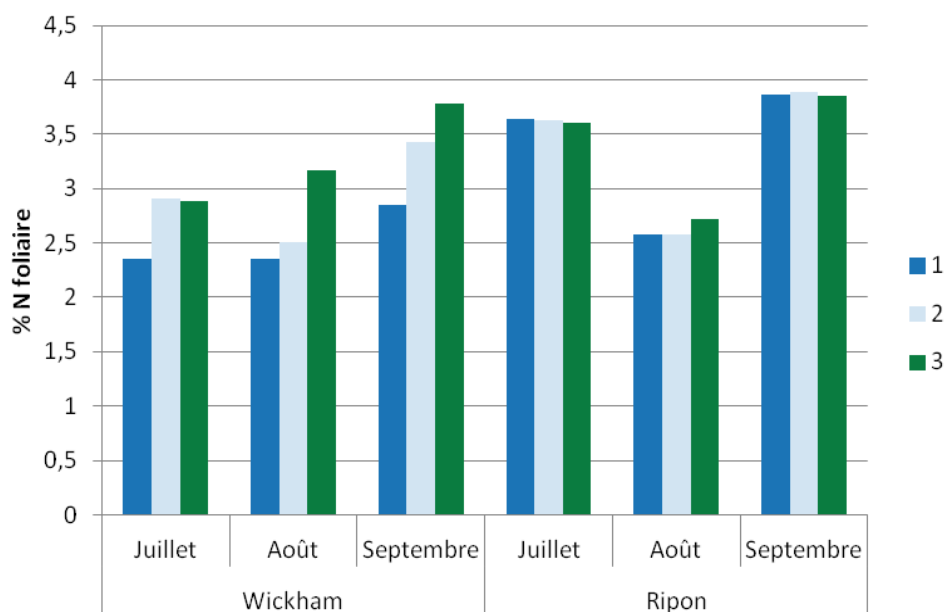


Figure 11. Impact de la fertilisation azotée sur la teneur en azote foliaire des plants de tomate en 2011 (effet significatif à $P \leq 0.05$ pour Wickham en juillet, août et septembre)
 (Légende : 1 = 135 kg de N/ha, 2 = 195 de N/ha, 3 = 270 de N/ha)

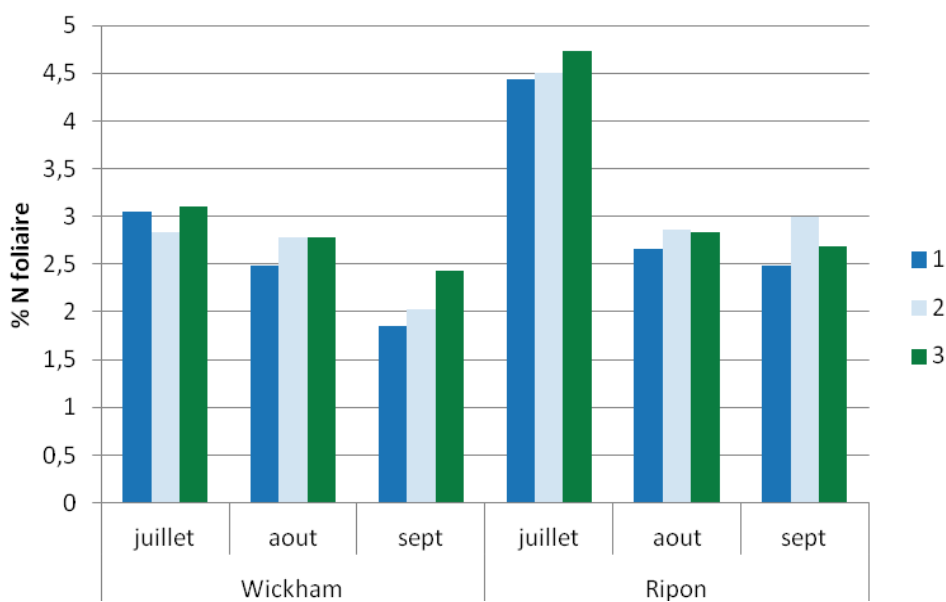


Figure 12. Impact de la fertilisation azotée sur la teneur en azote foliaire des plants de tomate en 2012 (effet significatif à $P \leq 0.05$ pour Wickham en septembre)
 (Légende : 1 = 135 kg de N/ha, 2 = 195 de N/ha, 3 = 270 de N/ha)

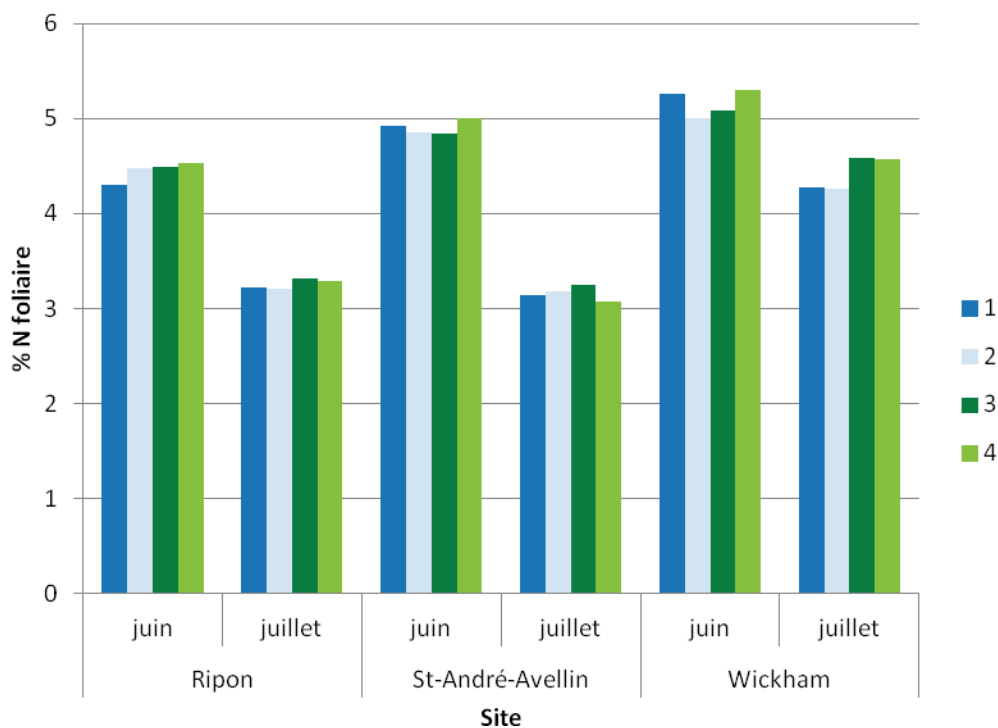


Figure 13. Impact de la fertilisation azotée sur la teneur en azote foliaire des plants de tomate en 2013 (effet significatif à $P \leq 0.05$ pour Wickham en juillet)

(Légende : 1 = 135 kg de N/ha, 2 = 165 de N/ha, 3 = 195 de N/ha – Farine de plumes, 4 = 195 de N/ha – Fumier granulé)

CARENCES ET MALADIES

Pour tous les sites, des signes de carence en magnésium ont été observés chaque année à partir de juillet. Des points dorés (« golden speck ») ont aussi coloré les fruits dès le mois d'août 2013 à Wickham. Concentrés essentiellement dans la zone pédonculaire des tomates, cette formation de cristaux d'oxalate de calcium dans les tissus est associée à une migration défailante du calcium dans les fruits, résultant en une accumulation. Plusieurs paramètres, tels qu'une humidité élevée empêchant une bonne transpiration des plantes et une carence en magnésium pourraient être l'origine de cette affection physiologique.

Pour tous sites suivis, la moisissure olive (cladosporiose de la tomate) a été observée, à partir de septembre en 2012 et à partir d'août en 2013. Le brunissement et éventuellement le dessèchement des feuilles touchées expose les fruits au rayonnement du soleil, ce qui augmente leur température et peut provoquer un mûrissement inégal, cause de déclassement. Il est à noter qu'il ne semblait pas y avoir de

tendance particulière en fonction des traitements de fertilisation. Les symptômes observés étaient présents dans toutes les parcelles.

AUTRES MESURES

CHLOROPHYLLE

Les teneurs en chlorophylle ont été mesurées pour le site Wickham pour les trois traitements à trois reprises en 2011 et 2012. Il n'y a eu aucune différence significative entre les traitements. Il n'y a pas non plus eu de tendance reliée aux traitements. Cette mesure n'a apporté aucune information utile. A titre d'exemple, les données moyennes de la saison 2011 sont présentées (Figure 14).

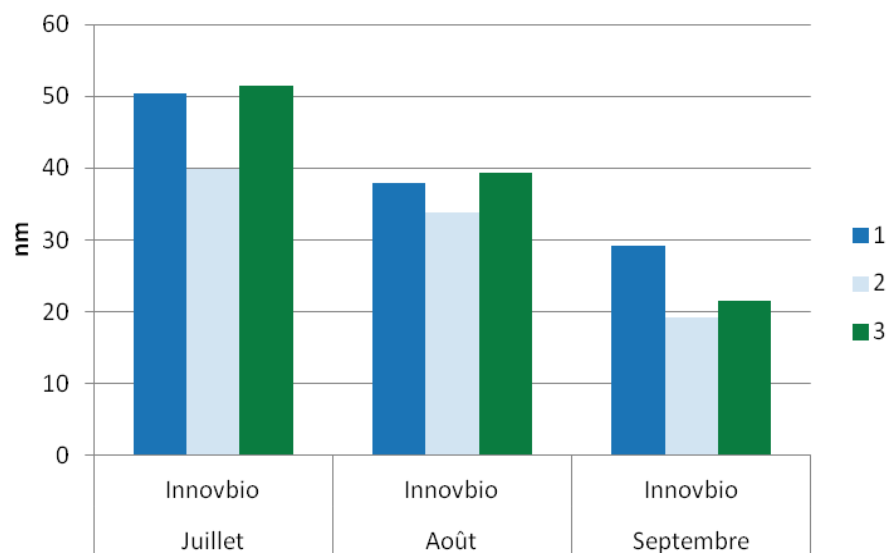


Figure 14. Teneur foliaire en chlorophylle pour chaque mois et chaque traitement

TEMPÉRATURES

Les relevés de températures pour tous les sites sont dans l'annexe III. En général, l'augmentation de température dans les grands tunnels a été plus marquée au site Wickham. Ce phénomène pourrait être relié à la superficie plus grande en grands tunnels à Wickham ainsi qu'au nombre plus élevé de chapelles. En effet au site Ripon, il y a trois chapelles de 120 mètres de long, au site St-André-Avelin il y a quatre chapelles de 73 m de long alors qu'au site Wickham, il y a six chapelles de 79 mètres de long.

CONCLUSION

La conclusion principale de ces essais est que, contrairement à la production en serre, les rendements plafonnent assez rapidement en grands tunnels et qu'il n'y a donc pas lieu d'augmenter énormément la fertilisation. Il n'y a eu une augmentation de rendement reliée à la fertilisation que sur 1 des 7 sites-année. Cette augmentation, au site Wickham en 2011, a été de 45%, ce qui est considérable, mais cette dernière a plafonné avec le traitement intermédiaire soit 195 kg de N. D'autres éléments de la régie de culture (travail du sol, irrigation et choix de variétés) semblent dans presque tous les cas jouer un rôle plus important que la fertilisation.

La mesure du potentiel de minéralisation est intéressante mais elle doit être testée dans d'autres essais pour mieux savoir comment l'utiliser, d'autant plus qu'elle variait beaucoup à l'intérieur d'une même plate-bande en 2013. La mesure des nitrates faite assez tôt en saison peut permettre de savoir si les engrais de ferme qui ont été appliqués se minéralisent bien. Il faudrait toutefois pouvoir faire de la fertigation pour profiter d'une telle mesure. Par contre, cette mesure est moins intéressante tard en saison pour ce modèle de production. L'analyse de sol standard reste l'outil le plus intéressant pour ce type de production.

Les corrélations entre la mesure de la salinité au laboratoire et celle établie avec le test 2 : 1 variaient selon le site, de même que celles entre les nitrates et la salinité. En 2011, les corrélations pour les nitrates SSE étaient excellentes au site Ripon, mais pas au site de Wickham. En 2012, les corrélations entre les nitrates du sol et la salinité mesurée au laboratoire étaient excellentes pour les deux sites. Il n'y a eu aucune corrélation entre les nitrates du sol et la teneur des plants en azote ni entre les nitrates et l'augmentation de rendement obtenue en 2011 au site de Wickham.

Les analyses foliaires correspondaient assez bien avec les observations de variation de rendement et de déclassement en ce qui concerne l'azote et le potassium. Par contre, elles indiquaient des niveaux de phosphore et de calcium toujours trop bas bien que cela ne semblait pas poser de problème aux plantes.

Les maladies normalement rencontrées en champ n'ont pas été présentes en grands tunnels (maladies bactériennes, alternariose, septoriose). Par contre, le problème de moisissure olive s'est intensifié avec les années et il devient nécessaire d'utiliser des variétés tolérantes.

L'augmentation de température due aux grands tunnels varie avec le site. Elle semble avoir été plus importante au site Wickham qu'aux sites Ripon et St-André-Avelin. Cette variation pourrait être reliée à la superficie plus grande de grands tunnels à Wickham.

Plusieurs éléments de régie tels que le choix des variétés, la gestion de l'irrigation et la gestion des sols doivent être considérés pour optimiser les rendements en grands tunnels. D'autres éléments de régie devraient être testés tels que le greffage, la taille et le tuteurage et l'utilisation de plastique blanc dans les allées afin d'augmenter la luminosité. Les analyses de minéralisation de l'azote par incubation méritent aussi d'être plus investiguées afin de voir si elles peuvent être utilisées pour raffiner la prédiction des besoins en azote en production biologique.

BIBLIOGRAPHIE

CRAAQ. 2010. *Grilles de référence en fertilisation*. 2^e édition. Comité. Centre de Références en Agriculture et Agroalimentaire du Québec.

Lambert, 2006. *Une analyse d'eau et de terreau, c'est important*. Bulletin d'information – culture en serre No 3, 2006.

Gugino, B.K., O.J. Idowu, R.R. Shindelbeck, H.M. van Es, D.W. Wolfe, B.N. Moebius-Clune, J.E. Thies et G.S. Abawi. 2009. *Cornell Soil Health Assesment Training Manual*. <http://soilhealth.cals.cornell.edu/extension/manual/1basics.pdf>

Robitaille, R. et J. Duval. 1995. Le point sur la fertilisation biologique de la tomate de serre. CPVQ.

ANNEXES

ANNEXE I GRAPHIQUES ET CORRÉLATIONS

Site Wickham 2011

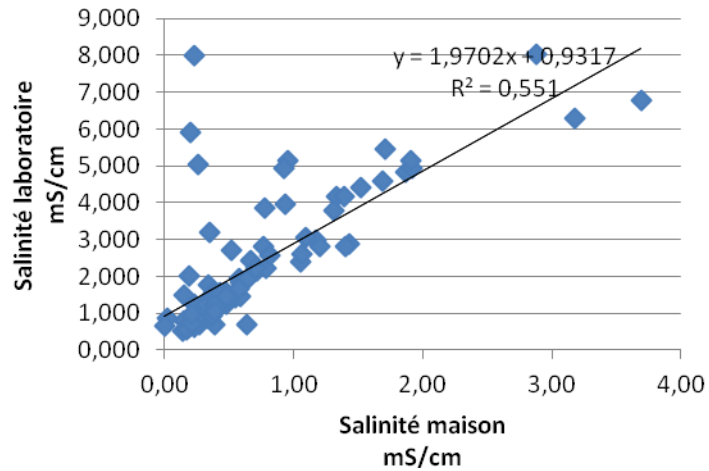


Figure 15. Corrélacion entre la salinité mesurée en laboratoire et celle mesurée avec le test 2 :1 au site Wickham en 2011

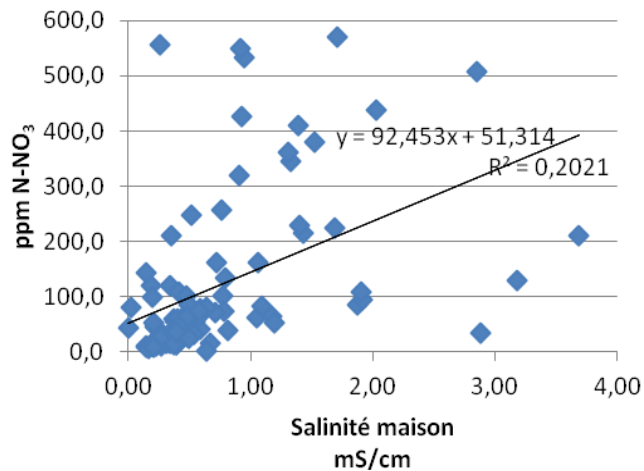


Figure 16. Corrélacion entre les nitrates SSE et la salinité mesurée avec le test 2 :1 au site Wickham en 2011

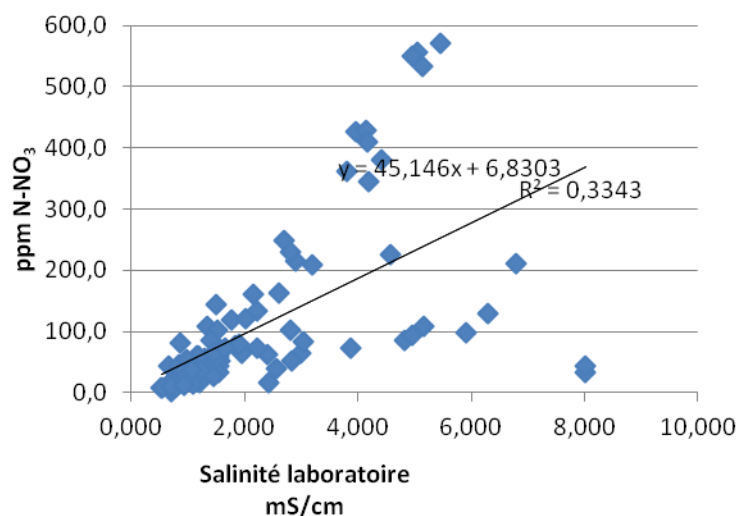


Figure 17. Corrélation entre les nitrates SSE et la salinité mesurée au laboratoire au site Wickham en 2011

Site Ripon 2011

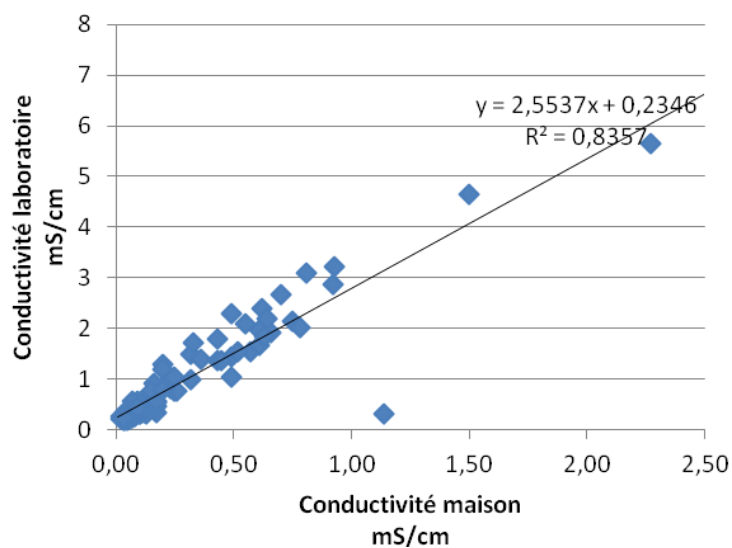


Figure 18. Corrélation entre la salinité mesurée au laboratoire et celle mesurée avec le test 2 : 1 au site Ripon en 2011

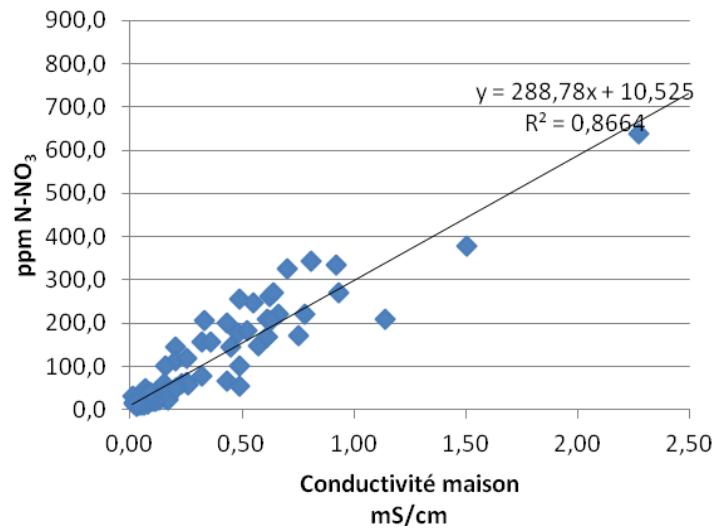


Figure 19. Corrélation entre les nitrates SSE et la salinité mesurée avec le test 2 : 1 au site Ripon en 2011

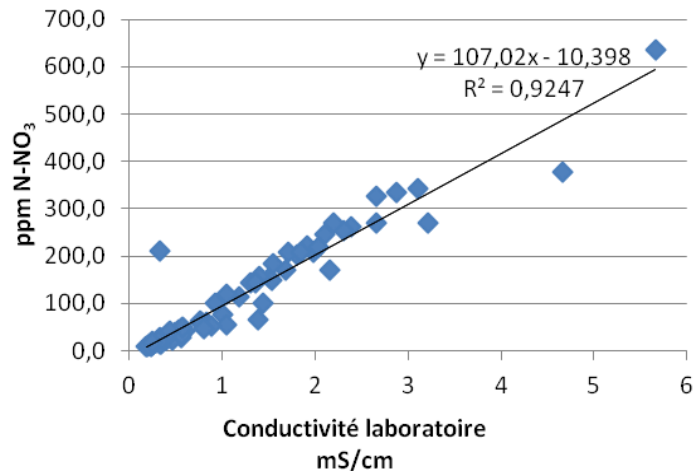


Figure 20. Corrélation entre les nitrates SSE et la salinité mesurée au laboratoire au site Ripon en 2011

Site Wickham 2012

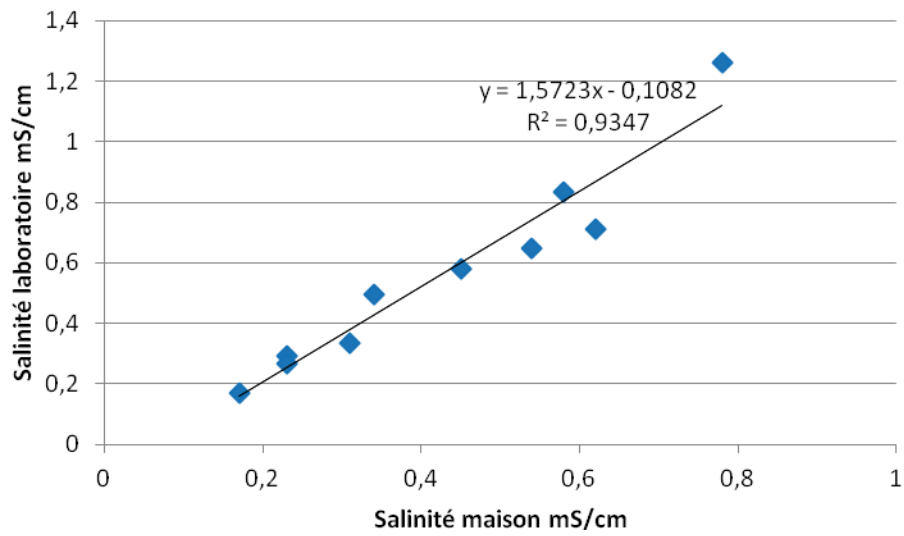


Figure 21. Corrélation entre la salinité mesurée au laboratoire et celle mesurée avec le test 2 : 1 au site Wickham en 2012

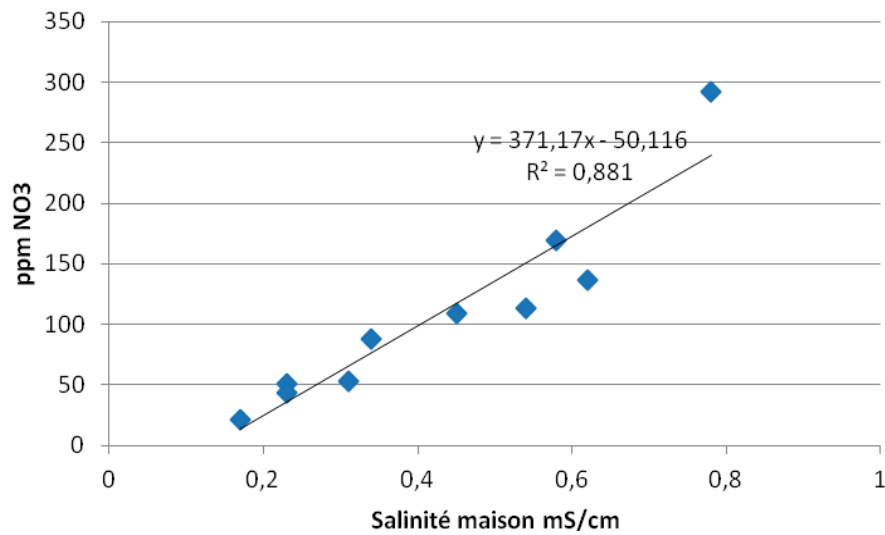


Figure 22. Corrélation entre les nitrates et la salinité mesurée avec le test 2 :1 au site Wickham en 2012

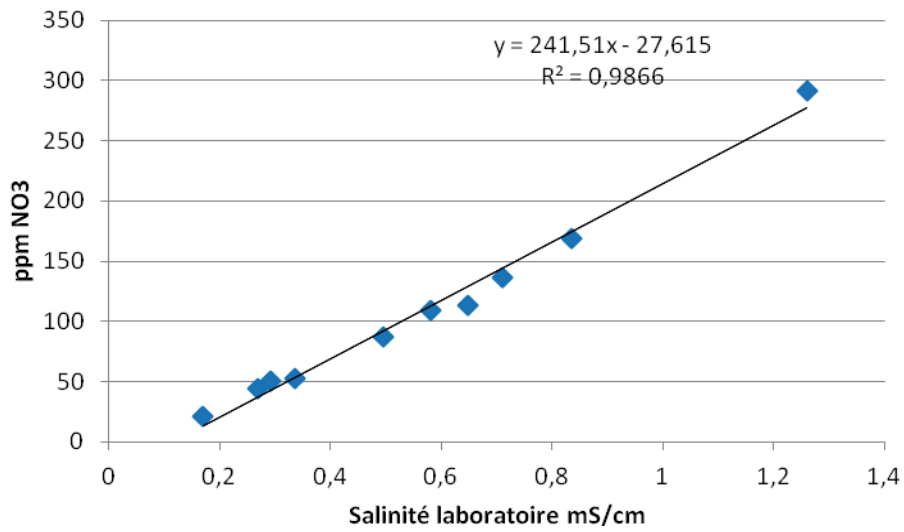


Figure 23. Corrélation entre les nitrates et la salinité mesurée au laboratoire au site Wickham en 2012

Site Ripon 2012

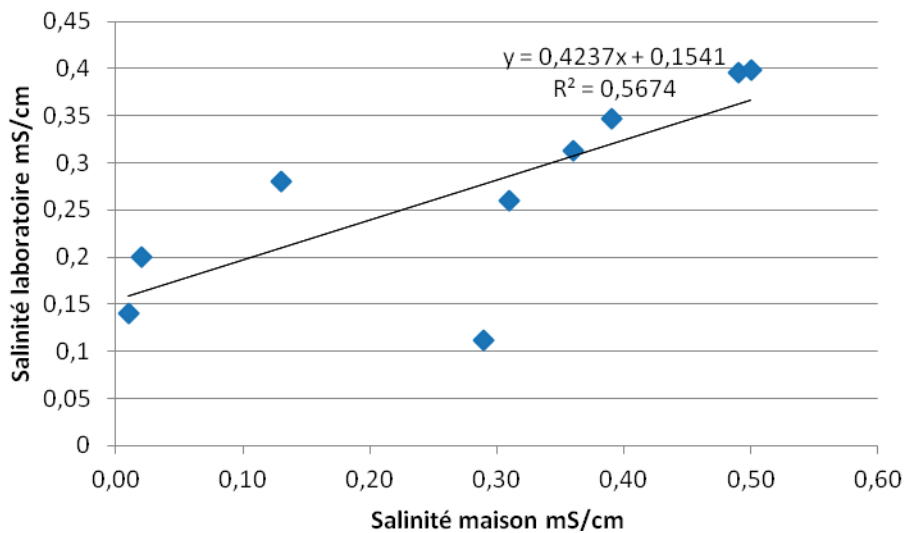


Figure 24. Corrélation entre la salinité mesurée au laboratoire et celle mesurée avec le test 2 : 1 au site Ripon en 2012

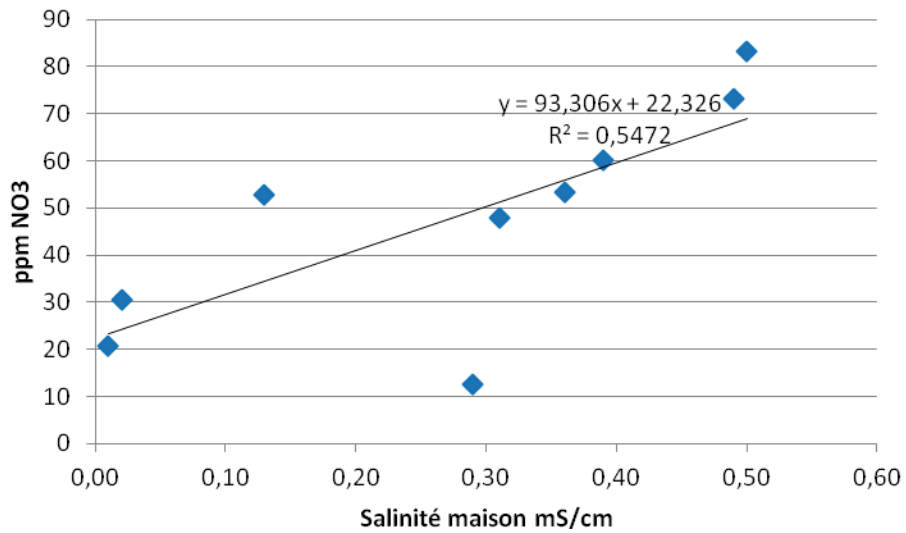


Figure 25. Corrélation entre les nitrates SSE et la salinité mesurée avec le test 2 :1 au site Ripon en 2012

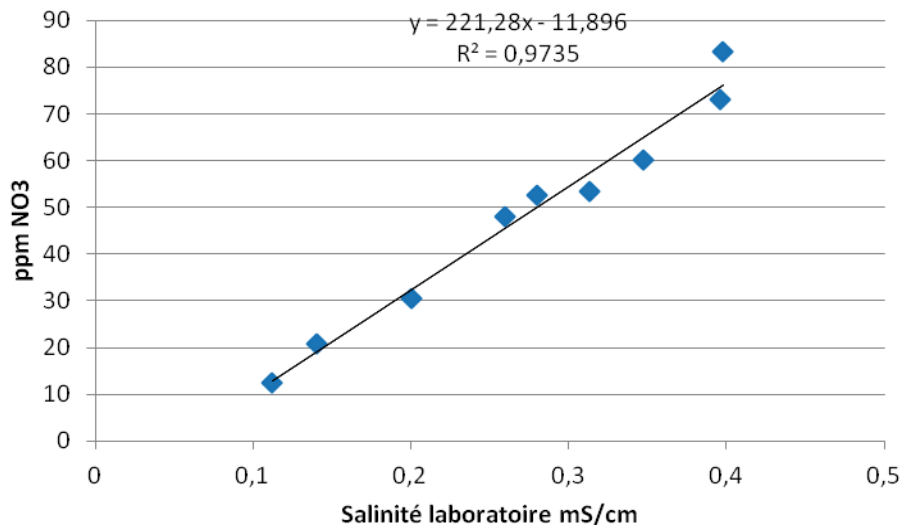


Figure 26. Corrélation entre les nitrates SSE et la salinité mesurée au laboratoire au site Ripon en 2012

ANNEXE II RÉSULTATS DES ANALYSES FAITES AVEC LA MÉTHODE CORNELL

Tableau 17. Résultats des valeurs et des évaluations des sites soumis aux tests de Cornell

		Rich	Rich	Ra	Ra	Wick	Wick	Rip	Rip	Pdt	Pdt	AU	AU
	Indicators	Value	Rating	Value	Rating	Value	Rating	Value	Rating	Value	Rating	Value	Rating
Physical	Aggregate Stability (%)	81,6	99	31,9	43	51,1	81	63,5	93	47,0	74	41,5	42
	Available Water Capacity (m/m)	0,21	87	0,18	67	0,15	59	0,31	100	0,11	40	0,18	52
	Surface Hardness (psi)	100	81	97	81	22	96	50	93	50	93	117	75
	Subsurface Hardness (psi)	300	57	300	46	116	98	231	74	300	57	300	22
Biological	Organic Matter (%)	5,5	94	4,1	66	5,3	92	5,7	95	2,4	32	2,6	11
	Active Carbon (ppm)	774	83	967	97	880	92	718	71	381	23	528	16
	Potentially Mineralizable Nitrogen (ugN/gdwsoil/week)	17,3	100	7,2	5	9,3	48	22,3	100	14,2	99	7,7	8
	Root Health Rating (1-9)	5,0	50	5,0	50	5,0	50	5,0	50	5,0	50	5,0	50
Chemical	pH	6,8	100	6,4	100	6,6	100	6,4	100	5,2	0	6,3	100
	Extractable Phosphorus	52,5	11	82,5	11	16,9	100	5,5	100	13,0	100	17,6	100
	Extractable Potassium	234,6	100	290,6	100	103	100	167,9	100	54,7	72	233,8	100
	Minor Elements		100		100	0	100		100		100		100
Overall Quality Score		80.1 - High		64.0 - Medium		87.4 - Very high		89.6 - Very high		61.5 - Medium		56.3 - Medium	
<i>Soil Textural Class</i>		Sandy loam		Silt loam		Sandy loam		Loam		Loamy sand		Silty clay	
<i>Sand (%)</i>		65,8		20,1		70,8		41,1		83,1		9,0	
<i>Silt (%)</i>		22,9		53,2		23,8		45,9		11,9		48,3	
<i>Clay (%)</i>		11,3		26,7		5,3		13,0		5,0		42,7	

ANNEXE III TEMPÉRATURE

ANNÉE 2011

En 2011, les températures à l'intérieur du tunnel et en champ ont été relevées sur les deux sites. Les graphiques suivants présentent les températures minimales et maximales hebdomadaires de chaque site.

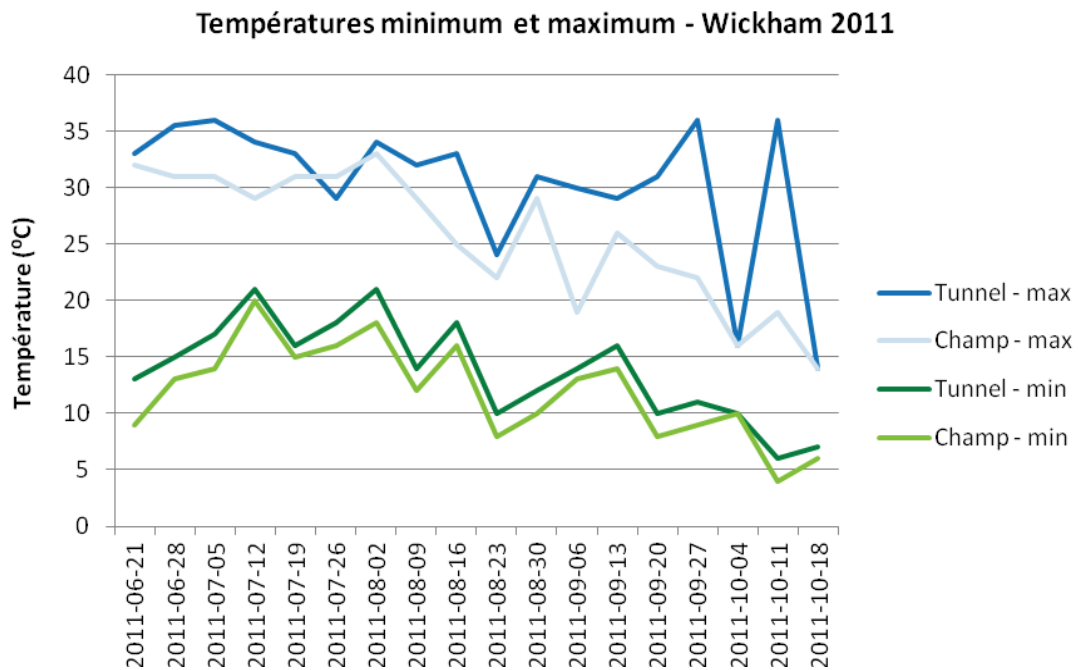


Figure 27. Température minimum et maximum moyennes en grands tunnels et en champ au site Wickham, saison 2011 (relevé manuel)

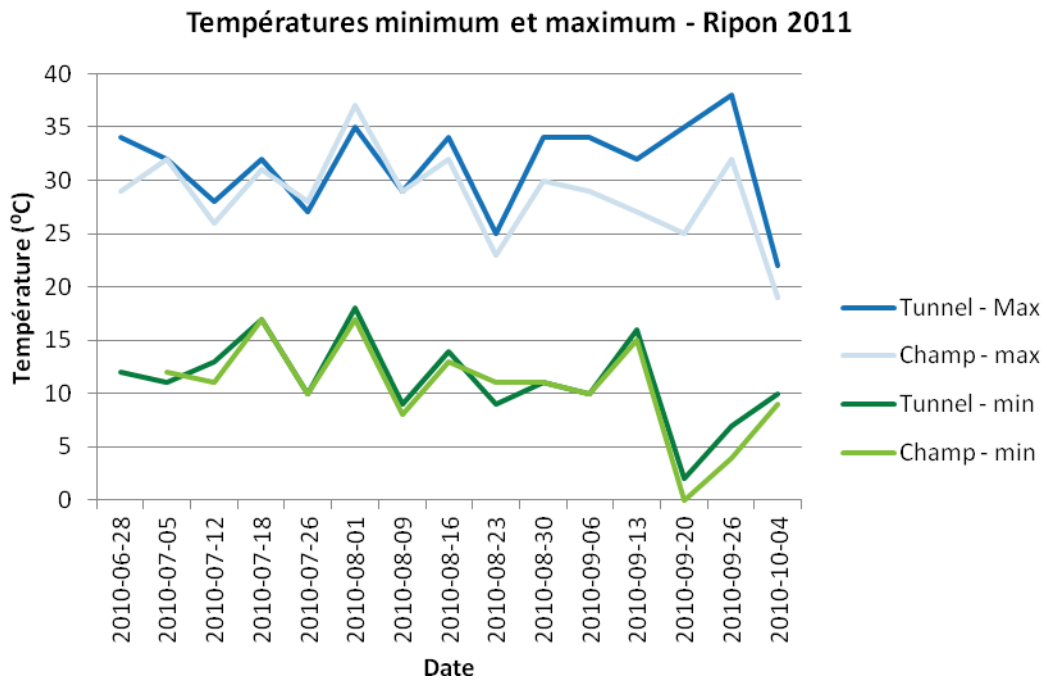


Figure 28. Température minimum et maximum moyennes en grands tunnels et en champ au site Ripon, saison 2011 (relevé manuel)

Pour fin de comparaison entre les sites, les température minimum et maximum des deux fermes sont présentées dans les Figures 29 et 30.

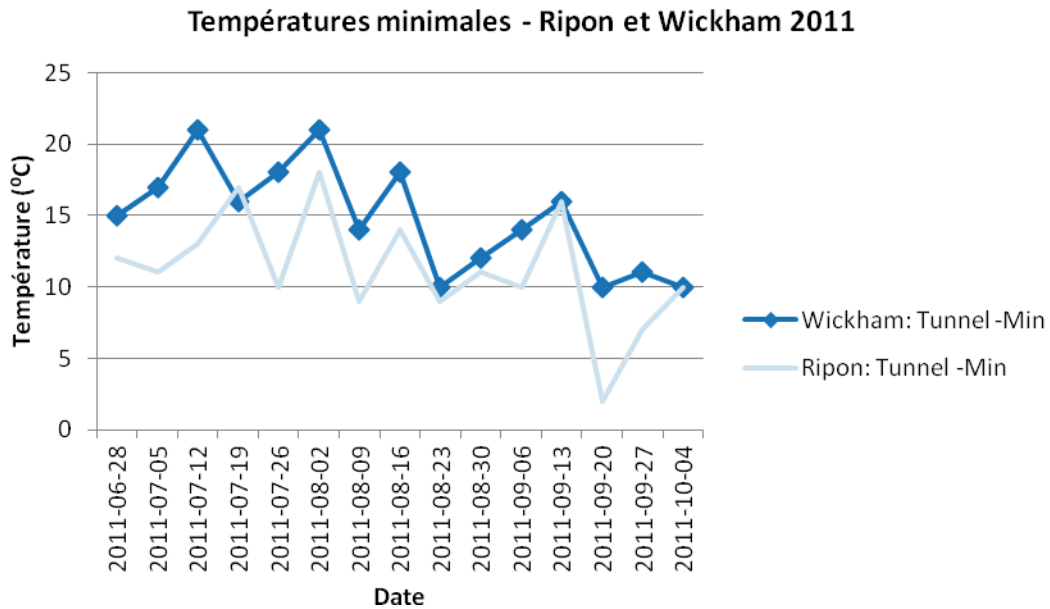


Figure 29. Comparaison des températures minimum en tunnel pour les deux sites en 2011 (relevé manuel)

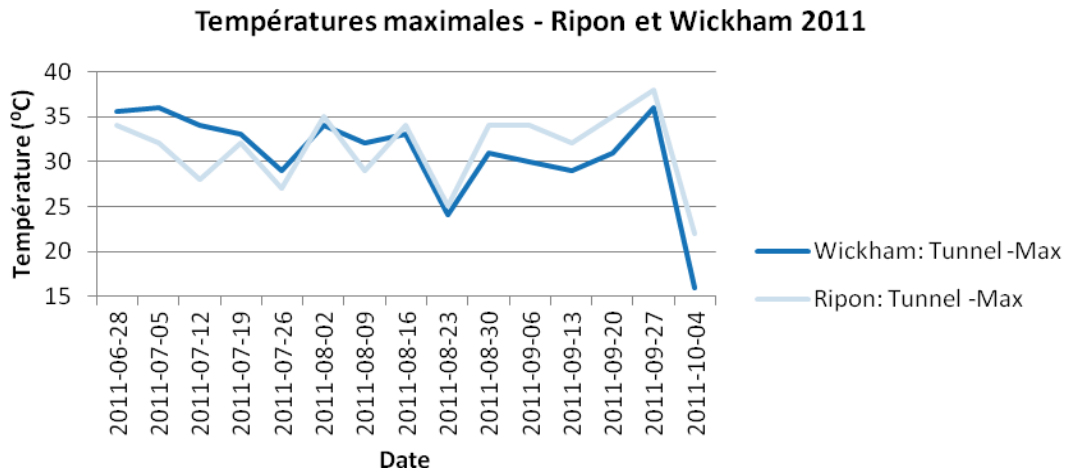


Figure 30. Comparaison des températures maximum en tunnel pour les deux sites en 2011(relevé manuel)

Les températures minimum sont presque tout le temps inférieures au site Ripon. En ce qui concerne les températures maximum, elles sont plus basses au site Ripon en début de saison et plus hautes en fin de saison.

ANNÉE 2012

En 2012, les données pour le site Wickham ont involontairement été prises à l'intérieur des tunnels avec les deux thermomètres fournis. La Figure 31 affiche les données recueillies à ces deux endroits.

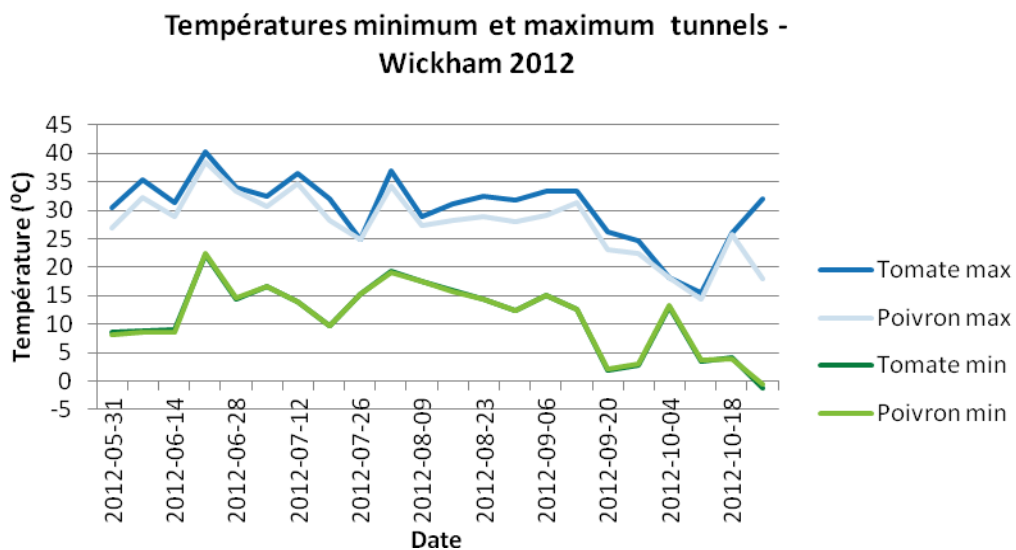


Figure 31. Température minimum et maximum en grands tunnels uniquement - Wickham 2012 (données d'une chapelle avec tomates et d'une chapelle avec poivrons relevé continu)

Des données pour la température extérieure ont tout de même été notées manuellement et compilées. La Figure 32 propose donc une comparaison entre les températures minimum et maximum en champ et en tunnel (moyenne de deux thermomètres).

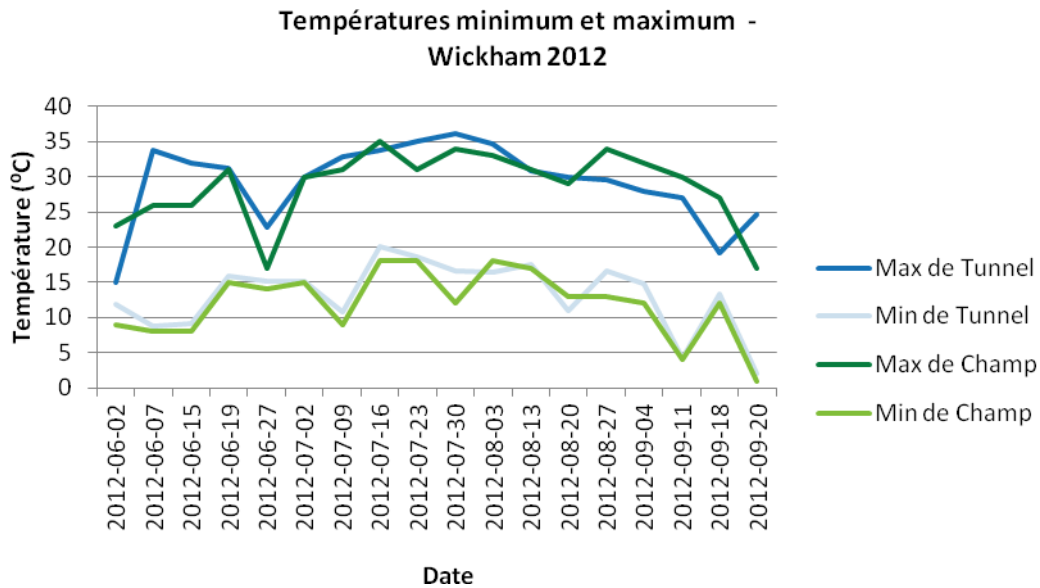


Figure 32. Température minimum et maximum moyennes en grands tunnels et en champ - Wickham 2012 (relevé manuel)

ANNÉE 2013

En 2013, des thermomètres ont été placés à l'intérieur et à l'extérieur des tunnels de chaque site. Malheureusement, pour une raison inconnue, les données de la ferme de Ripon n'ont pas été enregistrées correctement. Les graphiques suivants présentent donc les températures minimales et maximales hebdomadaires des deux autres sites.

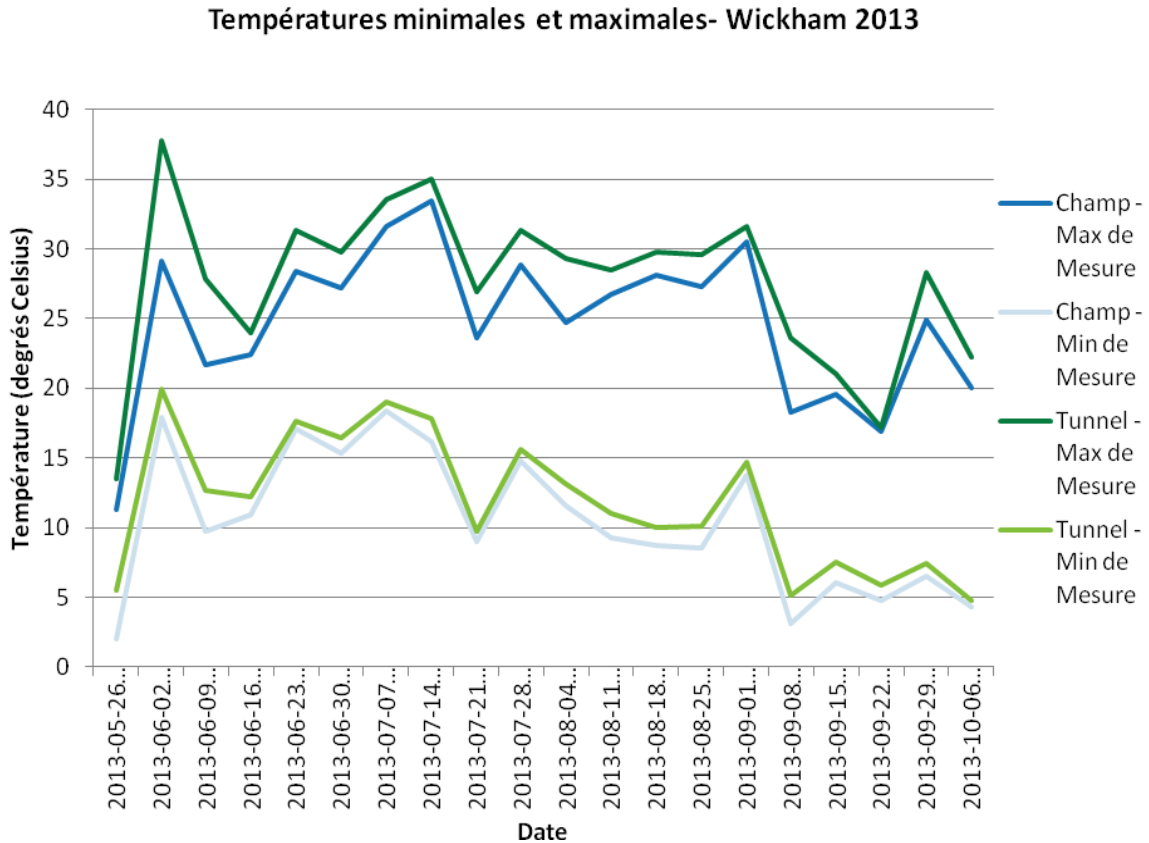


Figure 33. Température minimum et maximum moyennes en grands tunnels et en champ - Wickham 2013 (relevé continu)

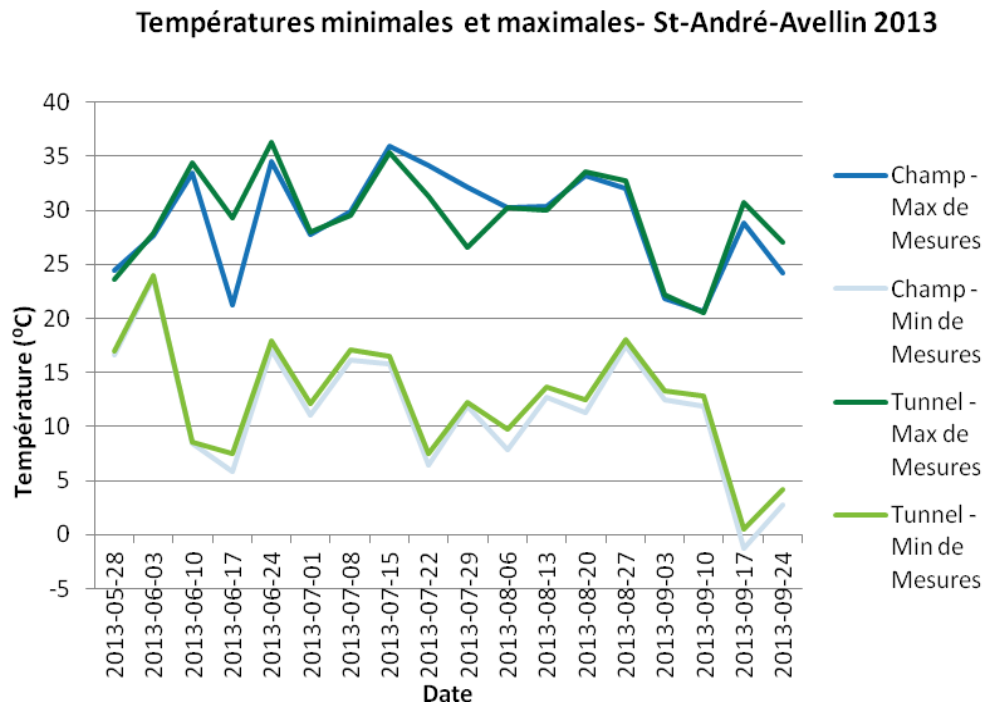


Figure 34. Température minimum et maximum moyennes en grands tunnels et en champ - St-André-Avellin 2013 (relevé continu)

Le graphique suivant de la température moyenne journalière de la ferme de Wickham démontre à son tour les degrés supplémentaires gagnés à l'intérieur du tunnel comparativement au champ à chaque heure de la journée.

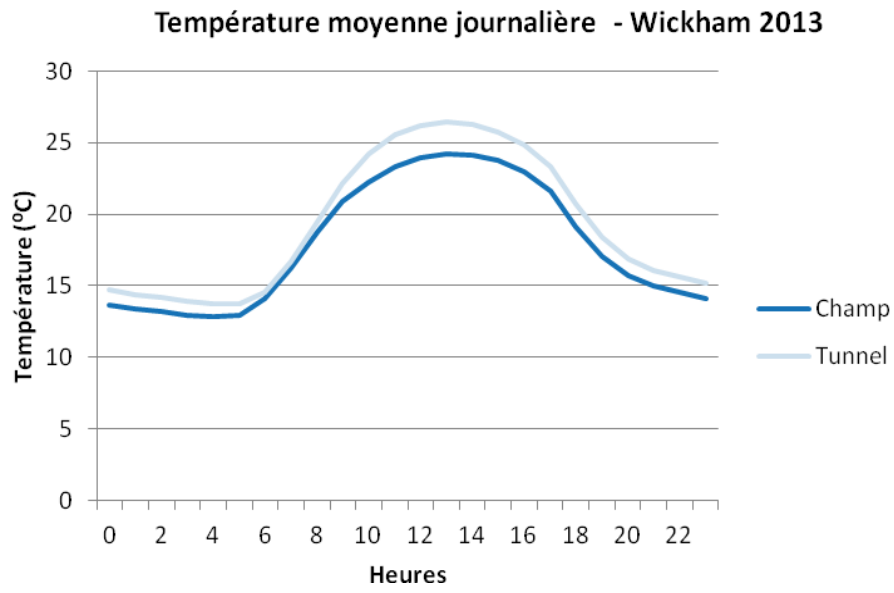


Figure 35. Températures moyennes journalières sous tunnel et en champ au cours de la saison - St-André-Avellin 2013