

# Suivi de la fertilité des sols en serres et en tunnels dans le Bas-Saint-Laurent

## (Phase 2)

Projet 10-INNO3-14 - Avenue BIO de l'Est

Présenté à :  
Monsieur Richard Favreau  
Président d'Avenue Bio de l'Est  
Saint-Valérien, Québec

Préparé par :  
Gilles Turcotte, agr., M.Sc.  
Agrisys Consultants inc.



Mars 2012

Ce projet a été réalisé grâce à une aide financière accordée dans le cadre du Programme Innovbio du ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec

# Table des matières

Remerciements.....	3
1. Mandat du consultant .....	4
2. Objectifs du projet.....	5
3. Méthodologie .....	6
3.1    Base théorique du programme de fertilisation.....	6
3.2    Programme de fertilisation d'appoint .....	7
3.3    Mesures qui ont été prises afin d'atteindre les objectifs .....	8
3.4    Mesure en nitrate des feuilles .....	9
4. Description des parcelles dédiées au projet, détails agronomiques et fertilisation de base	10
5. Les résultats.....	14
5.1    La ferme A .....	14
5.1.1    Évaluation des besoins en nutriments et des apports en fertilisants de base et d'appoint. .....	14
5.1.2    Résultats des analyses SSE et standards réalisées par le laboratoire.....	16
5.1.3    Mesure de la CE avec la technique 2:1 et mesure du contenu en nitrate des tissus foliaires.....	17
5.1.4    Productivité des cultures et suivi des conditions climatiques .....	19
5.2    La ferme B .....	26
5.2.1    Évaluation des besoins en nutriments et des apports en fertilisants de base et d'appoint. .....	26
5.2.2    Résultats des analyses SSE et standards réalisées par le laboratoire .....	27
5.2.3    Mesure de la CE avec la technique 2:1 et mesure du contenu en nitrate des tissus foliaires.....	29
5.2.4    Productivité des cultures et suivi des conditions climatiques .....	29
5.3    La Ferme C.....	37
5.3.1    Évaluation des besoins en nutriments et des apports en fertilisants de base et d'appoint. .....	37
5.3.2    Résultats des analyses SSE et standards réalisées par le laboratoire .....	39
5.3.3    Mesure de la CE avec la technique 2:1 .....	41
5.3.4    Productivité des cultures et suivi des conditions climatiques .....	42

5.4	La ferme D .....	49
5.4.1	Évaluation des besoins en nutriments et des apports en fertilisants de base et d'appoint. .....	49
5.4.2	Résultats des analyses SSE et standards réalisées par le laboratoire.....	51
5.4.3	Mesure de la CE avec la technique 2:1 .....	53
5.4.4	Productivité des cultures et suivi des conditions climatiques .....	54
6.	L'analyse des résultats.....	61
6.1	Valider l'équation de corrélation obtenue en 2010.....	61
6.2	Développer une technique simple pour faire le suivi de la fertilité des sols.....	65
6.3	Optimiser l'effet de la fertilisation biologique pour obtenir de meilleurs rendements tout en évitant les excès.....	69
	Conclusion .....	73
	Annexe 1.....	76
	Annexe 2.....	78

## Remerciements

L'auteur de ce rapport tient à remercier le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec, programme Innovbio (volet 3), pour son soutien financier dans le cadre de ce projet.

Mes remerciements s'adressent aussi à Monsieur Richard Favreau, président d'Avenue Bio de l'Est, pour la bonne coordination du projet et la révision du rapport. Je remercie aussi les producteurs participants qui ont pris le temps de collecter toutes les données agronomiques, de prélever les échantillons de sol et de mesurer la conductivité électrique et le contenu en nitrate des feuilles. Merci à Monsieur Guy Bouillon pour les prises de mesure avec le Nitracheck. Les fermes qui ont participé au projet sont : Jardin Nature, Le Potager Enchanté, Vert Mouton et Val-aux-Vents.

Un gros merci à Madame Christiane Cossette, technologue répondante en agriculture biologique pour le Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation, Direction régionale du Bas-St-Laurent, pour sa participation, sa précieuse collaboration dans le cadre du projet et la révision du rapport.

Finalement, toute l'équipe du projet tient aussi à remercier Monsieur Daniel Bergeron, agronome (MAPAQ, Direction régionale de la Capitale-Nationale), pour son aide précieuse concernant l'installation et l'utilisation des tensiomètres.

## 1. Mandat du consultant

Dans le cadre de ce projet de recherche en culture biologique sous serres et tunnels, le mandat confié à Agrisys par Avenue Bio de l'Est consistait dans un premier temps à soutenir et conseiller les quatre producteurs participants.

Les 16 et 20 juin, une formation sur la procédure à suivre pour la mesure du contenu en nitrate des feuilles avec l'appareil Nitratecheck (annexe 2) a été réalisée à distance par appel vidéo sur Skype. Madame Christiane Cossette et monsieur Guy Bouillon ont participé à cette formation.

Les 7-8 juillet et 2-3 août 2011, les quatre producteurs ont été visités par le consultant en compagnie de madame Christiane Cossette.

Par la suite, le rôle du consultant a été d'interpréter les résultats des analyses de sols des quatre fermes et de préparer un rapport. Pour le rapport, l'analyse des éléments minéraux a été limitée aux éléments suivants : azote (N), phosphore (P), potassium (K), calcium (Ca) et magnésium (Mg).

## 2. Objectifs du projet

Ce projet fait suite à une première phase réalisée en 2010 : *Suivi de la fertilité des sols en culture biologique de tomates en serres et en tunnels au Bas-Saint-Laurent afin de produire un outil de prise de décision à la fertilisation (phase 1)*. Projet de transfert et innovation technologique. MAPAQ - No 4051. Les résultats obtenus en 2010 ont permis en tout premier lieu à mieux quantifier le programme de fertilisation pour le projet de 2011. De plus, l'indicateur de fertilité identifié au cours de cette première phase, la mesure de la conductivité électrique (CE) réalisée sur le terrain (technique 2:1), a été repris dans le projet 2011. Pour une deuxième année consécutive, cet indicateur sera suivi en relation avec la fertilité des sols. Deuxièmement, toutes les mesures de conductivité électrique (CE) réalisées sur le terrain (technique 2:1) et par le laboratoire vont servir à valider l'équation de corrélation liant ces deux valeurs qui a été obtenue en 2010.

En 2011, la mesure du niveau de nitrate de la sève a été ajoutée afin de mesurer le statut nutritionnel des plantes et de voir s'il existe une relation avec la CE et la fertilité du sol. Dans un programme de fertilisation où les éléments nutritifs sont bien équilibrés, le nitrate est reconnu comme étant un bon indicateur du statut nutritionnel général d'une plante.

Les objectifs de ce projet étaient :

1. Valider l'équation de corrélation obtenue dans le projet réalisé en 2010 liant les mesures de CE faite à la ferme (technique 2 :1) et la CE mesurée en laboratoire (technique SSE).
2. Poursuivre le développement d'une technique simple pour faire le suivi de la fertilité des sols;
3. Optimiser l'effet de la fertilisation biologique pour obtenir de meilleurs rendements tout en évitant les excès.

### 3. Méthodologie

#### 3.1 Base théorique du programme de fertilisation

Le programme de fertilisation de la tomate pour le projet 2011 devait s'appuyer sur le prélèvement de base en éléments majeurs qui a été identifié dans le projet : *Suivi de la fertilité des sols en culture biologique de tomates en serres et en tunnels au Bas-Saint-Laurent afin de produire un outil de prise de décision à la fertilisation (phase 1)*; Projet de transfert et innovation technologique, MAPAQ - No 4051.

Le besoin en éléments majeurs pour produire 1 kg/m<sup>2</sup> de tomates<sup>1</sup> est de :

- 0,3 kg N /100 m<sup>2</sup>;
- 0,1 kg P /100 m<sup>2</sup>;
- 0,4 kg K /100 m<sup>2</sup>;
- 0,3 kg Ca /100 m<sup>2</sup>;
- 0,1 kg Mg /100 m<sup>2</sup>.

Le besoin en éléments minéraux est considéré pour une surface de culture de 100 m<sup>2</sup>. Cette façon de procéder est utilisée pour faciliter le calcul des applications de fertilisants. Pour le concombre, le besoin en éléments majeurs est très semblable à celui de la tomate, la même base de référence a donc été utilisée.

Selon un objectif de rendement préétabli par le producteur, le programme de fertilisation visait à combler les besoins des plants de tomates et de concombres. Dans un premier temps, la contribution en éléments nutritifs (N, P, K, Ca et Mg) de la fertilisation de base apportée en début de culture a été

---

<sup>1</sup> Sonneveld, c. et W. Voogt. 2009. Plant Nutrition of Greenhouse Crops. Springer Science&Business. 431 pages.

calculée. Dans un deuxième temps, un apport complémentaire a été évalué afin de répondre au besoin des cultures.

Dans le cadre de cette étude, nous avons uniquement quantifié les éléments nutritifs provenant du compost et des engrains organiques qui ont été ajoutés pendant l'année. Les éléments nutritifs qui ont été libérés par le sol n'ont pas été pris en compte étant donné l'impossibilité d'en faire une évaluation précise. Ce genre de mesure dépassait largement le cadre du présent projet.

### **3.2 Programme de fertilisation d'appoint**

À partir des données fournies par les producteurs, ainsi qu'avec les résultats des analyses de sol qui ont été faites avant la plantation, un programme de fertilisation d'appoint « théorique » a été préparé pour chaque entreprise participante. Le programme réalisé a été évalué tout au cours du projet.

Le moment où la fertilisation d'appoint a été appliquée a été déterminé selon les analyses de sols : CE mesurée à la ferme (technique 2:1) et les résultats des analyses SSE du laboratoire. La méthode pour réalisée la mesure de la CE selon la technique 2 :1 est présentée à l'annexe 1. La CE-maison a servi d'indicateur de la disponibilité en temps réel des éléments majeurs pour les plantes. De plus, les analyses ont aidé à déterminer le dosage et le nombre des applications.

Pour s'assurer que les mesures étaient bien représentatives d'une ferme à l'autre, au début du projet, les quatre producteurs se sont réunis pour faire une vérification de l'uniformité de lecture des conductivimètres.

Au départ du projet, nous avons posé l'hypothèse que la CE qui est recommandée pour la culture dans des serres chauffées (longue saison de culture) est la même que celle pour des tunnels ou des serres qui sont peu chauffées (courte saison de culture). La CE acceptable du sol pour la culture

maraîchère biologique sous serre est entre 1,5 et 3,0 mS/cm, avec une plage optimale entre 2,0 et 2,5<sup>2</sup>.

### 3.3 Mesures qui ont été prises afin d'atteindre les objectifs

Pour les cultures de tomates et de concombres, les données suivantes ont été collectées par les entreprises participantes :

- 1 analyse de sol standard en début de saison, avec granulométrie;
- 1 analyse du compost utilisé;
- 4 analyses de sol SSE (1<sup>er</sup> juin, 1<sup>er</sup> juillet, 1<sup>er</sup> août, 1<sup>er</sup> septembre);
- 14-15 mesures de la CE du sol par la technique 2 :1 (1 par semaine);
- 15 mesures du contenu en nitrate de la sève par la technique du Nitrachek (1 par semaine). Mesures prises pour la tomate chez deux producteurs seulement. Mesures prise pour le concombre chez un producteur seulement;
- Données climatiques : Température air max et min (lecture journalière), température sol (en même temps que lecture tensiomètre);
- Données hydriques : Suivi de la tension du sol (1 lecture par jour, à heure régulière, au moment du déclenchement de l'arrosage matinal);
- Rendements hebdomadaires;
- 1 analyse de sol standard en fin de saison.

Les analyses SSE donnent la concentration des éléments nutritifs qui sont disponibles dans la solution du sol pour les plantes au moment de l'échantillonnage. Pour la CE du sol, c'est la valeur donnée par le laboratoire qui est la référence. Afin d'interpréter les mesures de CE mesurée à la ferme

---

<sup>2</sup> Sonneveld, c. et W. Voogt. 2009. Plant Nutrition of Greenhouse Crops. Springer Science&Business. 431 pages.

(technique 2 :1), nous avons utilisé l'équation de corrélation linéaire qui a été obtenue lors de la campagne de mesures réalisée en 2010 (Projet de transfert et innovation technologique, MAPAQ - No 4051). L'équation mathématique reliant les deux CE qui a été obtenu est :  $y = 1,86x + 0,43$ ,  $R^2 = 0,92$ . La valeur de la CE maison est le x de l'équation et la valeur correspondante que le laboratoire obtiendrait est donné par le y.

### 3.4 Mesure en nitrate des feuilles

La technique utilisée dans ce projet est présentée en détail à l'annexe 2. Le tableau 1 donne les concentrations en nitrate que sont reconnues comme optimales dans la littérature technique pour la culture des tomates et des concombres.

Tableau 1. Concentrations en nitrate dans les feuilles qui ont servi de points de référence pour la tomate et le concombre<sup>3</sup>.

	Tomate* (ppm N-NO <sub>3</sub> )	Concombre (ppm N-NO <sub>3</sub> )
Plantation – floraison 2 <sup>e</sup> bouquet	1000 – 1200	
Nouaison 2 <sup>e</sup> – 5 <sup>e</sup> bouquet	800 – 1000	
Récolte	700 – 900	
Plantation - 1 <sup>re</sup> floraison		800 - 1000
Formation 1 <sup>er</sup> fruits		600 – 800
Récolte		400 - 600

\* : Seuil pour la tomate a croissance indéterminée.

---

<sup>3</sup> Hochmuth, G.J. 1994. Sufficiency Ranges for Nitrate-Nitrogen and Potassium for Vegetable Sap Quick Tests. HortTechnology. Pages 218-222.

Hochmuth, G.J. 2009 Plant Petiole Sap-Testing for Vegetable Crops. University of Florida, IFAS Extension. <http://edis.ifas.ufl.edu/cv004>

Warncke, D. 2007. Petiole Sap Nitrate Guidelines. Michigan State University. <http://news.msue.msu.edu/news/category/vegetables>

## 4. Description des parcelles dédiées au projet, détails agronomiques et fertilisation de base

Les fermes qui ont participé au projet sont : Jardin Nature (Saint-Anaclet), Le Potager Enchanté (Casapscal), Vert Mouton (Saint-Valérien) et Val-aux-Vents (Saint-Valérien). Une brève description des entreprises participantes va être faite dans la présente section. Les 4 tableaux qui suivent présentent pour chacune des entreprises participantes les différentes variétés de tomates et de concombres qui ont été sélectionnées pour le projet d'étude, les objectifs de rendements, les surfaces des parcelles, la fertilisation de base prévue et les détails techniques concernant les abris utilisés dans ce projet : serre ou tunnel, avec ou sans chauffage.

### La ferme A

<b>TOMATE</b> Cultivar et type	Nb de plants pour le suivi	Surface couverte (m <sup>2</sup> )	Fertilisation en début de culture (t/ha)	Type de fertilisant	Valeur fertilisante selon analyse	Objectif de rendement (kg/m <sup>2</sup> )
Big Beef ind.	108	65	99	Compost cheval	3,0-2,7-8,6	14
Date semis / plantation : 11 mars / 18 mai						
Date 1 <sup>re</sup> / dernière récolte : 14 août / 1 <sup>er</sup> octobre						
<b>CONCOMBRE</b> Cultivar et type	Nb de plants pour le suivi	Surface couverte (m <sup>2</sup> )	Fertilisation en début de culture (t/ha)	Type de fertilisant	Valeur fertilisante selon analyse	Objectif de rendement (un/m <sup>2</sup> ou kg/m <sup>2</sup> )
Babylon (T-35) Libanais	46	22,5	53	Compost cheval	3,0-2,7-8,6	56 un/m <sup>2</sup> 10 kg/m <sup>2</sup>
Date semis / plantation : 30 avril / 6 juin						
Date 1 <sup>re</sup> / dernière récolte : 7 juillet / 26 septembre						

Tunnel sans chauffage.

Gestion du climat : Forte ventilation naturelle du tunnel à partir de la mi-juin. Fermeture complète de la ventilation à partir de septembre lorsqu'il y avait un risque de gel.

## La ferme B

<b>TOMATE</b> Cultivar et type	Nb de plants pour le suivi	Surface couverte (m <sup>2</sup> )	Fertilisation en début de culture (t/ha)	Type de fertilisant	Valeur fertilisante selon analyse	Objectif de rendement (kg/m <sup>2</sup> )
Big Beef ind.	180	60	-	-	-	35
Note : Basé sur la richesse du sol (analyse de laboratoire), aucune fertilisation n'est prévue en début de culture.						
Date semis / plantation : 15 mars / 16 mai						
Date 1 <sup>re</sup> / dernière récolte : 15 août / 3 octobre						
<b>CONCOMBRE</b> Cultivar et type	Nb de plants pour le suivi	Surface couverte (m <sup>2</sup> )	Fertilisation en début de culture (t/ha)	Type de fertilisant	Valeur fertilisante selon analyse	Objectif de rendement (un/m <sup>2</sup> ou kg/m <sup>2</sup> )
Tasty Green Long 25-30 cm	27	12,8	-	-	-	31 un/m <sup>2</sup>
Date semis / plantation : 5 mai / 7 juin						
Date 1 <sup>re</sup> / dernière récolte : 4 août / 28 septembre						
Serre avec chauffage.						
Gestion du climat : Chauffage seulement pour maintenir une température minimale au-delà de 16°C. Fermeture complète du chauffage entre le 15 juin et le 20 juillet. Reprise de la consigne de température minimale de 16°C entre le 21 juillet et le début septembre. Fermeture complète du chauffage à partir du début septembre.						

## La ferme C

<b>TOMATE</b> Cultivar et type	Nb de plants pour le suivi	Surface couverte (m <sup>2</sup> )	Fertilisation en début de culture (t/ha)	Type de fertilisant	Valeur fertilisante selon analyse	Objectif de rendement (kg/m <sup>2</sup> )
Big Beef ind.	54	19	40t/ha compost + 200 kg/ha granules + 100 kg/ha	Compost tourbe et crevettes Granules algues crevettes SulPomag	0,6-0,8-0,2 4-2-1 0-0-22 (11 % Mg)	15
Date semis / plantation : 12 avril / 24 mai						
Date 1 <sup>re</sup> / dernière récolte : 9 août / 4 octobre						
<b>CONCOMBRE</b> Cultivar et type	Nb de plants pour le suivi	Surface couverte (m <sup>2</sup> )	Fertilisation en début de culture (t/ha)	Type de fertilisant	Valeur fertilisante selon analyse	Objectif de rendement (un/m <sup>2</sup> ou kg/m <sup>2</sup> )
Green Finger Libanais	114	40	40t/ha compost + 200 kg/ha granules + 100 kg/ha	Compost tourbe et crevettes Granules algues crevettes SulPomag	0,6-0,8-0,2 4-2-1 0-0-22 (11 % Mg)	10 kg/m <sup>2</sup>
Date semis / plantation : 12 mai / 4 juin						
Date 1 <sup>re</sup> / dernière récolte : 24 juillet / 3 octobre						
Serre avec chauffage. Gestion du climat : Chauffage seulement pour maintenir une température minimale au-delà de 14°C. Fermeture complète du chauffage à partir du 1 <sup>er</sup> septembre.						

## La ferme D

<b>TOMATE</b> Cultivar et type	Nb de plants pour le suivi	Surface couverte (m <sup>2</sup> )	Fertilisation en début de culture (t/ha)	Type de fertilisant	Valeur fertilisante selon analyse	Objectif de rendement (kg/m <sup>2</sup> )
Premio ind.	50	25	6,0	Fumier de pondeuses	3,0-3,0-1,5	7
Date semis / plantation : 6 avril / 20 mai						
Date 1 <sup>re</sup> / dernière récolte : 9 août / 26 septembre						
<b>CONCOMBRE</b> Cultivar et type	Nb de plants pour le suivi	Surface couverte (m <sup>2</sup> )	Fertilisation en début de culture (t/ha)	Type de fertilisant	Valeur fertilisante selon analyse	Objectif de rendement (un/m <sup>2</sup> ou kg/m <sup>2</sup> )
Sweet Success Long 30-35 cm	40	25	6,0	Fumier de pondeuses	3,0-3,0-1,5	40 un/m <sup>2</sup>
Date semis / plantation : 13 mai / 8 juin						
Date 1 <sup>re</sup> / dernière récolte : 15 juillet / 26 septembre						
Serre avec chauffage dont le contrôle se fait manuellement. Gestion du climat : Chauffage seulement pour les nuits où il y a un risque de gel, du mois de mai au mois d'octobre.						

## 5. Les résultats

### 5.1 La ferme A

#### 5.1.1 Évaluation des besoins en nutriments et des apports en fertilisants de base et d'appoint.

Les besoins en éléments nutritifs (N, P, K, Ca et Mg) ont été évalués selon les objectifs de rendement fixés par l'entreprise, soit : 14 kg/m<sup>2</sup> pour la tomate et 10 kg/m<sup>2</sup> pour le concombre. Les besoins en éléments nutritifs correspondants sont présentés respectivement dans les figures 1 et 4.

Le tableau 2 montre les dates et les dosages des apports de compost et d'engrais organiques qui ont été effectués sur les cultures de tomates et de concombres. Le tableau 3 donne la valeur fertilisante du compost qui a été appliqué par la ferme A. Un seul fertilisant organique a été utilisé en fertilisation d'appoint : Actisol (4-4-2, 7 % Ca, 0,5 % Mg). Étant donné les caractéristiques physiques de cet engrais et de la date d'application, un taux de libération de 50 % des éléments nutritifs pour la saison de culture 2011 a été considéré pour calculer la valeur de l'apport d'appoint. Les figures 1 et 4 présentent aussi l'évaluation des nutriments qui ont été rendus disponibles pour les plantes au cours de la saison de culture par la fertilisation d'appoint. Si l'on compare pour chacun des éléments nutritifs étudiés les besoins théoriques versus les apports qui ont été faits en 2011 (contribution du sol exclue), on obtient les pourcentages qui sont présentés ci-contre :

	Tomate (objectif de 14 kg)	Concombre (objectif de 10 kg)
N	143%	132%
P	88%	98%
K	96%	80%
Ca	148%	155%
Mg	87%	75%

Tableau 2. Dates et dosages des apports de compost et d'engrais organiques sur les cultures de tomates et de concombres.

Date	Tomate (kg / 100 m <sup>2</sup> )	Fertilisant	Concombre (kg / 100 m <sup>2</sup> )	Fertilisant
Fertilisation de base				
8 mai	985,0	Compost		
6 juin			533,0	Compost
Fertilisation d'appoint				
3 juillet	25,4	Actisol		
17 juillet	22,2	Actisol		
17 juillet			53,3	Actisol
27 août			8,8	Actisol

Tableau 3. Valeur fertilisante du compost selon l'analyse du laboratoire.

Élément minéral	Kg/tonne	Taux de libération 1 <sup>re</sup> année
N	9,3	55 %
P	1,3	65 %
K	5,6	90 %
Ca	6,6	70 %
Mg	1,6	70 %

### 5.1.2 Résultats des analyses SSE et standards réalisées par le laboratoire

Les figures 2 et 5 montrent respectivement pour la tomate et le concombre, les résultats des quatre analyses SSE réalisées par le laboratoire. Ces figures donnent aussi les valeurs optimales qui sont utilisées comme valeurs de référence. Selon les valeurs optimales, les quatre analyses mensuelles effectuées en 2011 montreraient un niveau de disponibilité des cinq éléments nutritifs (N, P, K, Ca et Mg) qui est faible.

Les figures 3 et 6 montrent respectivement pour la tomate et le concombre, les résultats des deux analyses standards (début et fin de culture) qui ont été réalisées par le laboratoire. Dans l'ensemble, on remarque une augmentation de tous les éléments nutritifs, sauf pour le Ca dans le concombre (baisse de 12 %). L'élément qui a été le plus fortement affecté à la hausse, c'est le P. Pour la tomate, on a même noté un accroissement de 599 %. Cet élément devra être suivi attentivement dans les prochaines années pour éviter de dépasser les limites permises au point de vue environnemental. Par contre, l'indice de fertilité global (CEC) des sols aurait pour sa part baissé légèrement, soit de 4 % pour la tomate et de 7 % pour le concombre. Les pourcentages obtenus en comparant les analyses standards de début et de fin sont présentés ci-contre :

	Tomate	Concombre
P	599%	175%
K	116%	149%
Ca	107%	88%
Mg	114%	112%
CEC	96%	93%

Le tableau 4 présente les résultats de l'analyse standard à la fin de la saison de culture pour la tomate et le concombre. On note que plusieurs éléments

présentent une cote TR (très riche) ou ER (excessivement riche). L'analyse standard présente la fertilité à long terme d'un sol, et de ce côté, la dernière analyse standard montre des sols riches. Par contre, les analyses SSE ne reflètent pas tout ce potentiel de richesse.

Tableau 4. Résultats de l'analyse standard réalisée à la fin de la saison de culture.

	Tomate		Concombre	
	(%)		(%)	
MO	12,9	TR	14,4	TR
	(kg/ha)		(kg/ha)	
P	401	ER	255	ER
K	577	TR	530	ER
Ca	7290	TR	9322	TR
Mg	535	ER	634	ER
	(mEq/100 g)		(mEq/100 g)	
CEC	26,8	R	28,3	R

### 5.1.3 Mesure de la CE avec la technique 2:1 et mesure du contenu en nitrate des tissus foliaires

Les figures 7 et 8 (tomate et concombre respectivement) présentent la progression des mesures de la CE (2:1), tout au cours de la saison. Sur ces figures, il a été ajouté les résultats des CE mesurés en laboratoire et les concentrations en nitrate des feuilles (mesures réalisées avec le Nitracheck).

Pour la tomate, les deux applications d'engrais ont provoqué une augmentation de la CE-maison. Il est à noter que sur la figure, chaque point représente un

intervalle d'une semaine. Cette plage de sept jours peut expliquer que pour certains points, l'action et la réaction se retrouvent superposées. Les applications d'engrais ont aussi affecté à la hausse la concentration en nitrate des feuilles, et ce, de façon très marquée.

Pour le concombre, dans la semaine du 13 juin on peut remarquer une hausse de la CE-maison qui pourrait s'expliquer par l'épandage du compost qui a été faite le 6 juin. Ce compost aurait donc libéré rapidement une partie appréciable des ses éléments nutritifs dans la solution du sol. Par la suite, les deux applications d'appoints en engrais ont aussi provoqué une augmentation de la CE-maison, surtout la deuxième application. Pour cette dernière, le dosage était de 8,8 kg par 100 m<sup>2</sup>, comparativement à la première qui était de 53,3 kg par 100 m<sup>2</sup>. La hausse rapide de la CE pourrait s'expliquer par le fait que l'Actisol a été placé en solution avant d'être appliqué au sol. Cette façon de procéder semble donner une libération plus rapide dans la solution du sol des nutriments pour cet engrais organique. Dans le cas du concombre, les applications d'engrais organiques n'ont pas semblé avoir d'effet marqué sur la concentration en nitrate des feuilles.

Dans l'ensemble, on n'observe que la CE (laboratoire) est plus faible que notre hypothèse qui situait la CE acceptable entre 1,5 et 3,0 mS/cm. Malgré ce fait, aucune carence minérale ou autre signe externe n'a pu être observé sur les cultures lors des deux visites effectuées les 7-8 juillet et les 2-3 août 2011.

Les concentrations en nitrate dans les feuilles qui ont été obtenues sont en général beaucoup plus basses que celles qui sont considérées dans la littérature technique comme étant optimales (tableau 1). Pour la tomate, une seule valeur se situait dans l'intervalle recommandé, soit pour la semaine du 11 juillet, où une valeur tout près de 900 ppm a été mesurée. Pour le concombre, la première valeur obtenue (1 615 ppm) pour la semaine du 4 juillet a été nettement supérieure à la plage recommandée (600 – 800 ppm). La mesure (514 ppm) de la

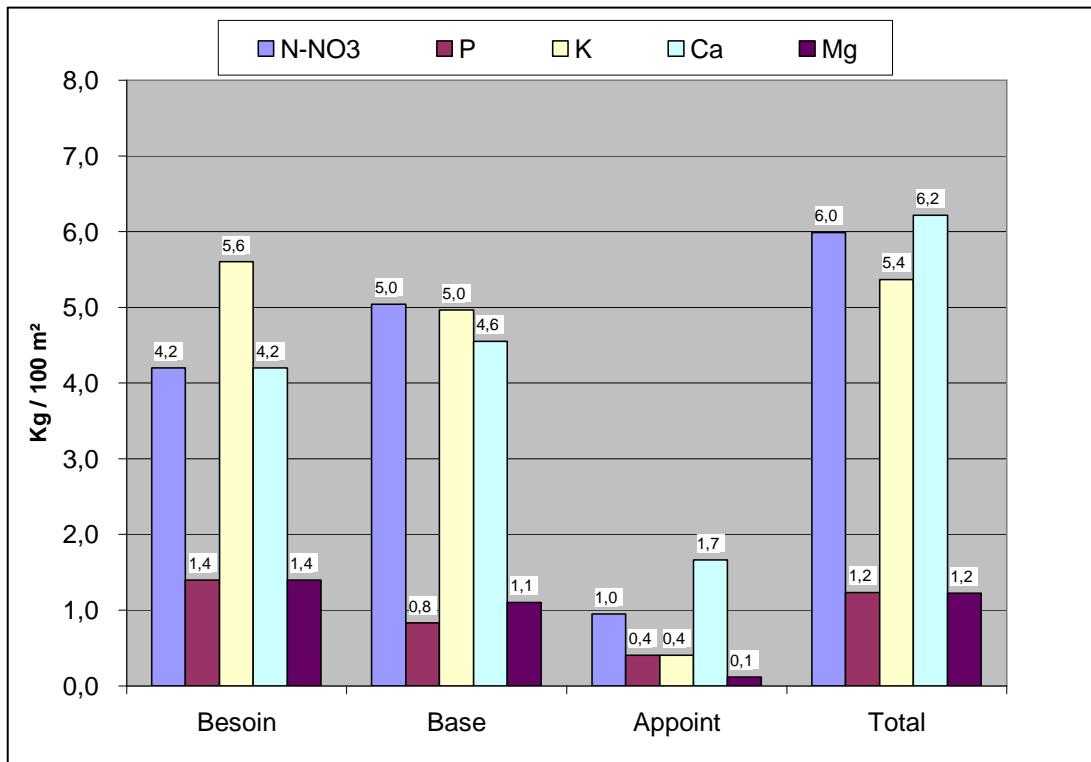
semaine du 11 juillet était comprise dans l'intervalle recommandé pour ce stade phénologique, soit entre 400 et 600 ppm.

#### 5.1.4 Productivité des cultures et suivi des conditions climatiques

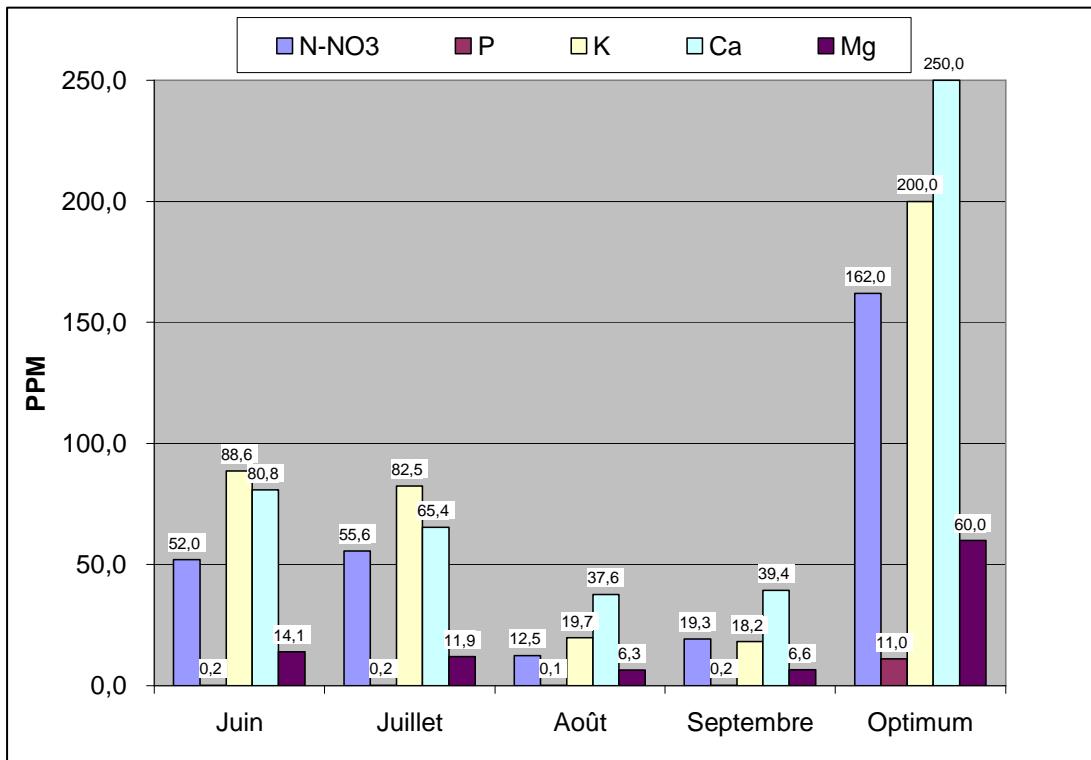
Pour la tomate, l'objectif de production était de 14 kg/m<sup>2</sup> et il a été obtenu 9,3 kg/m<sup>2</sup> commercialisables. Cependant, 3 kg/m<sup>2</sup> de fruits ont été récoltés, mais n'ont pu être vendus à cause de défauts de qualité. Sur les 3-4 premières grappes 2 kg/m<sup>2</sup> de fruits difformes (face de chat) n'étaient pas vendables et environ 1 kg/m<sup>2</sup> à cause de la moisissure grise. Pour le concombre, l'objectif était de 10 kg/m<sup>2</sup> et le résultat a été de 14,5 kg/m<sup>2</sup>. L'objectif a été dépassé par 4,5 kg.

Les figures 9 et 11 (tomate et concombre respectivement) donnent un aperçu des conditions climatiques qui ont caractérisé la saison 2011 : température de l'air minimum, température de l'air maximum et température moyenne du sol. Ces valeurs ont été présentées en parallèle avec les mesures de la CE-maison, afin de voir s'il pouvait y avoir une interaction. Dans la période couverte par les mesures, les conditions climatiques ne semblent pas avoir eu d'influence sur la CE du sol. Par contre, la température de sol a suivi la même tendance que la température minimale, sûrement à cause de l'heure où cette mesure était prise.

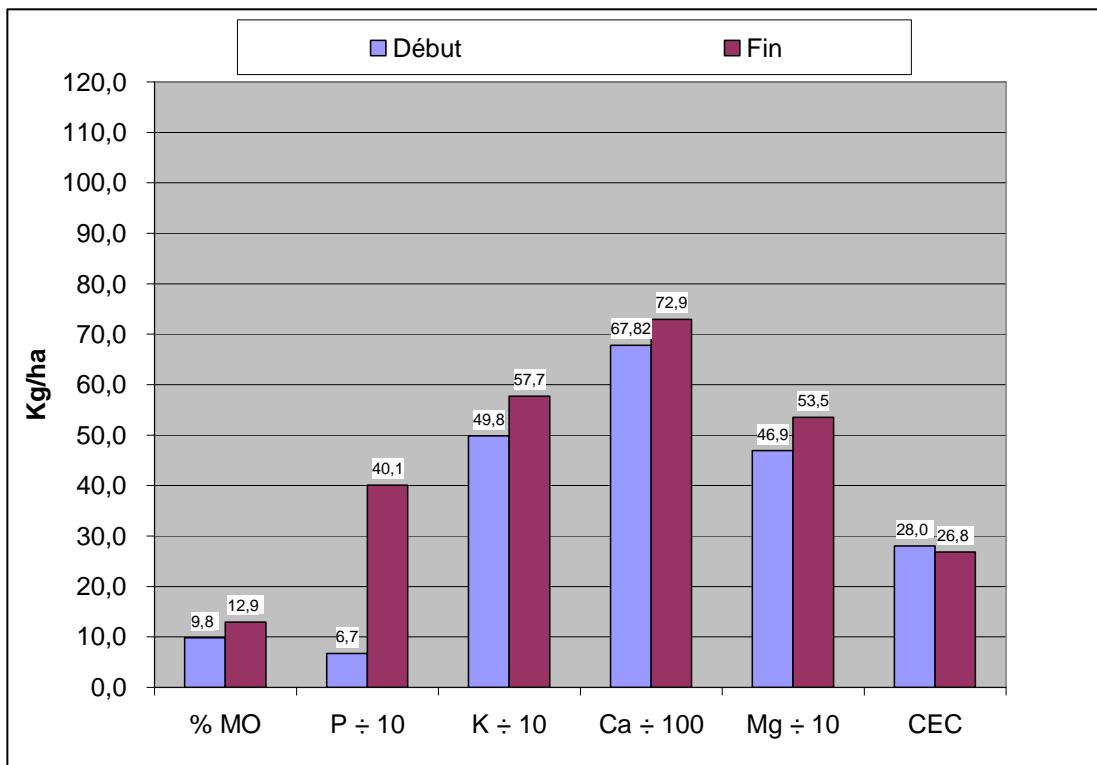
Les figures 10 et 12 (tomate et concombre respectivement) donnent la progression de la tension du sol avec la CE-maison. Pour la tomate, la tendance saisonnière de ces deux paramètres est similaire. Par contre, pour le concombre la relation a été tout à fait à l'inverse.



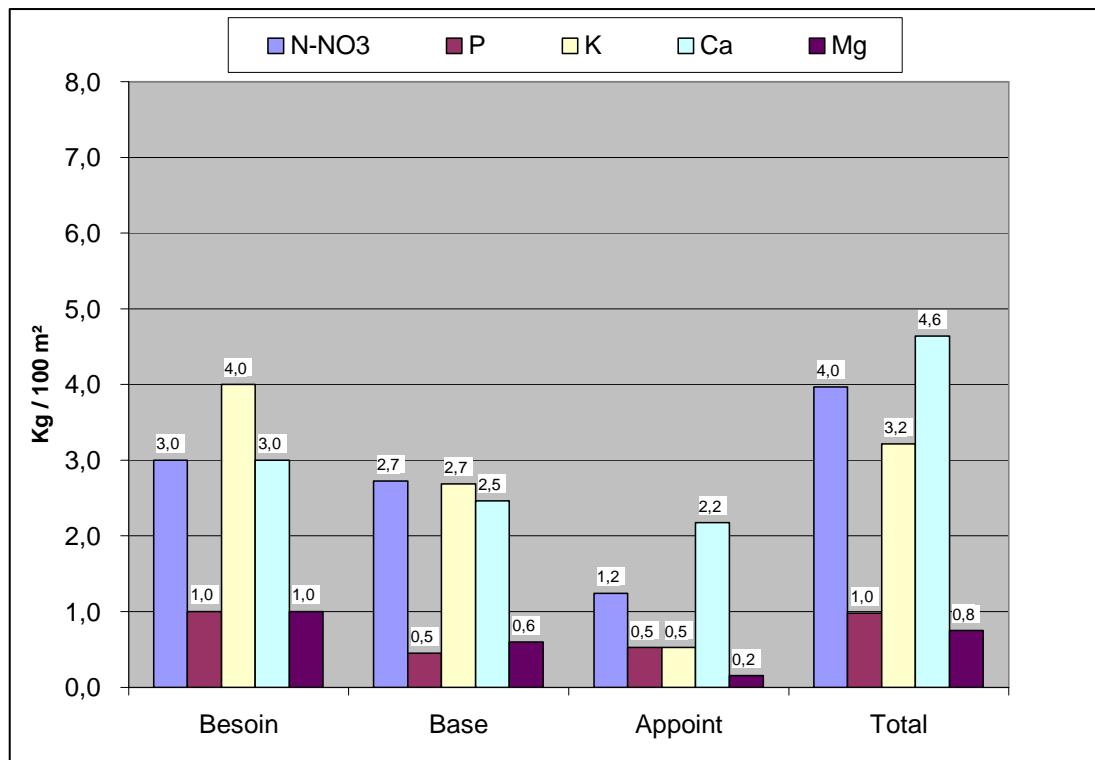
**Figure 1.** Évaluation des besoins en nutriments et des apports en fertilisants de base et d'appoint pour la tomate.



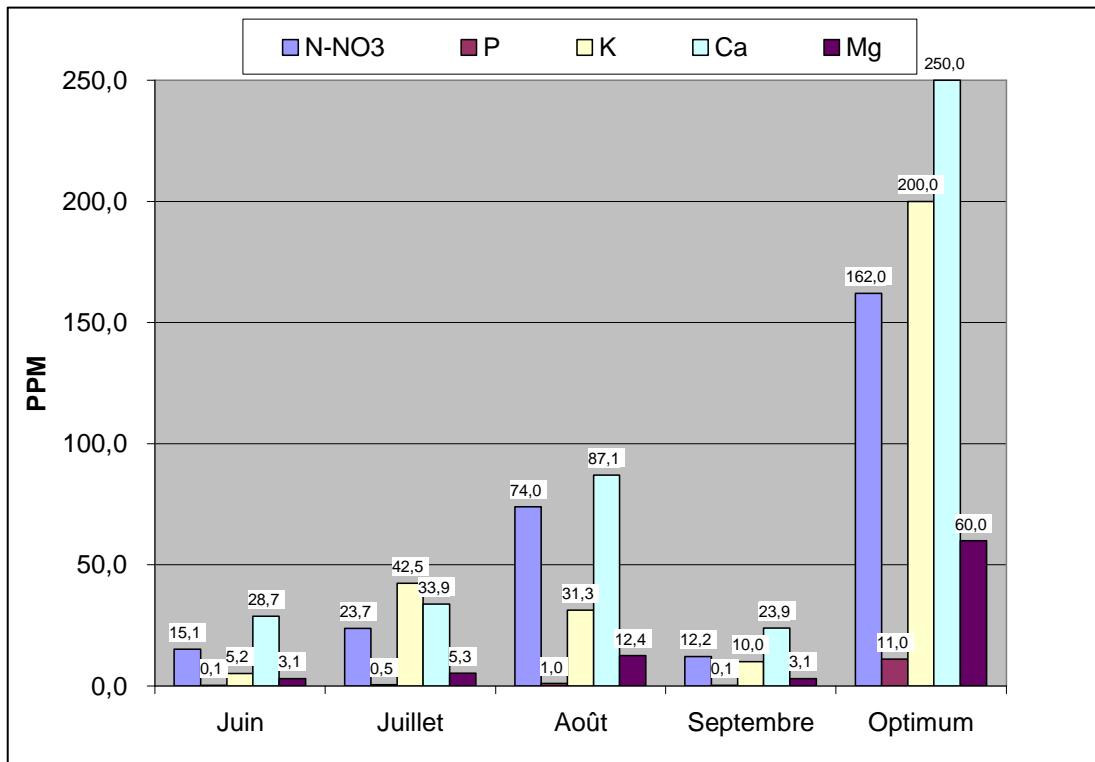
**Figure 2.** Résultats des quatre analyses SSE réalisées par le laboratoire ainsi que les valeurs de références (*Optimum*) pour la tomate.



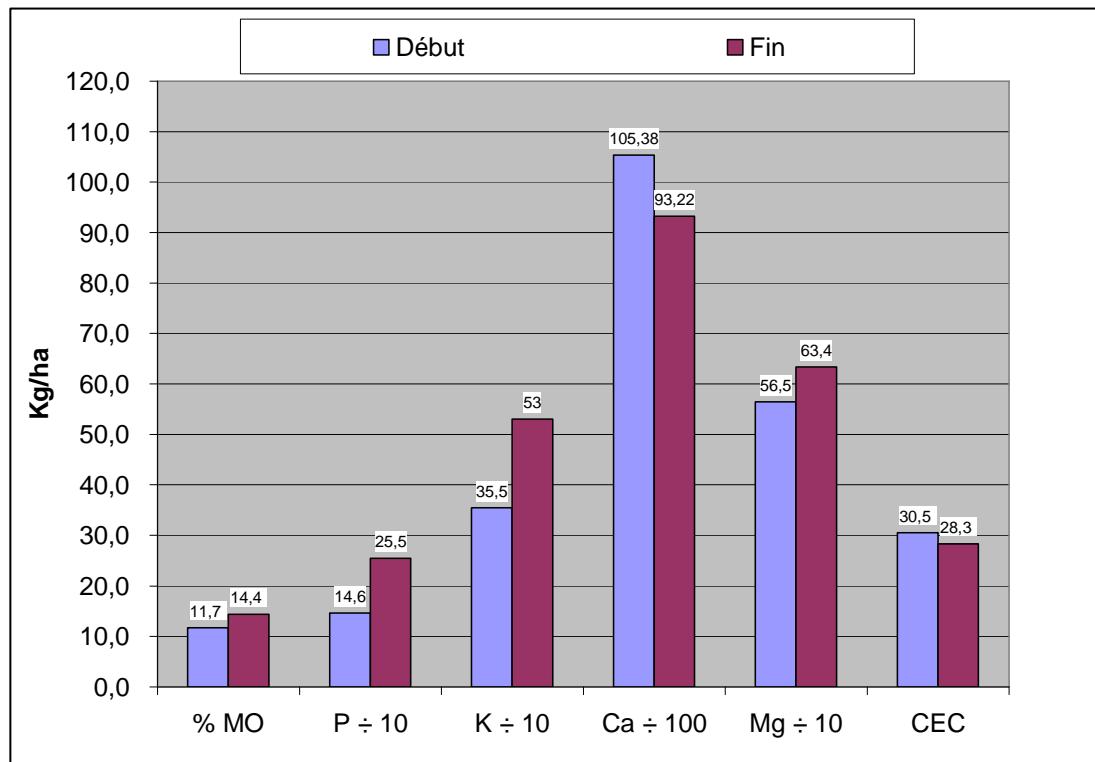
**Figure 3.** Résultats des deux analyses (début et fin de culture) standards qui ont été réalisées par le laboratoire pour la tomate.



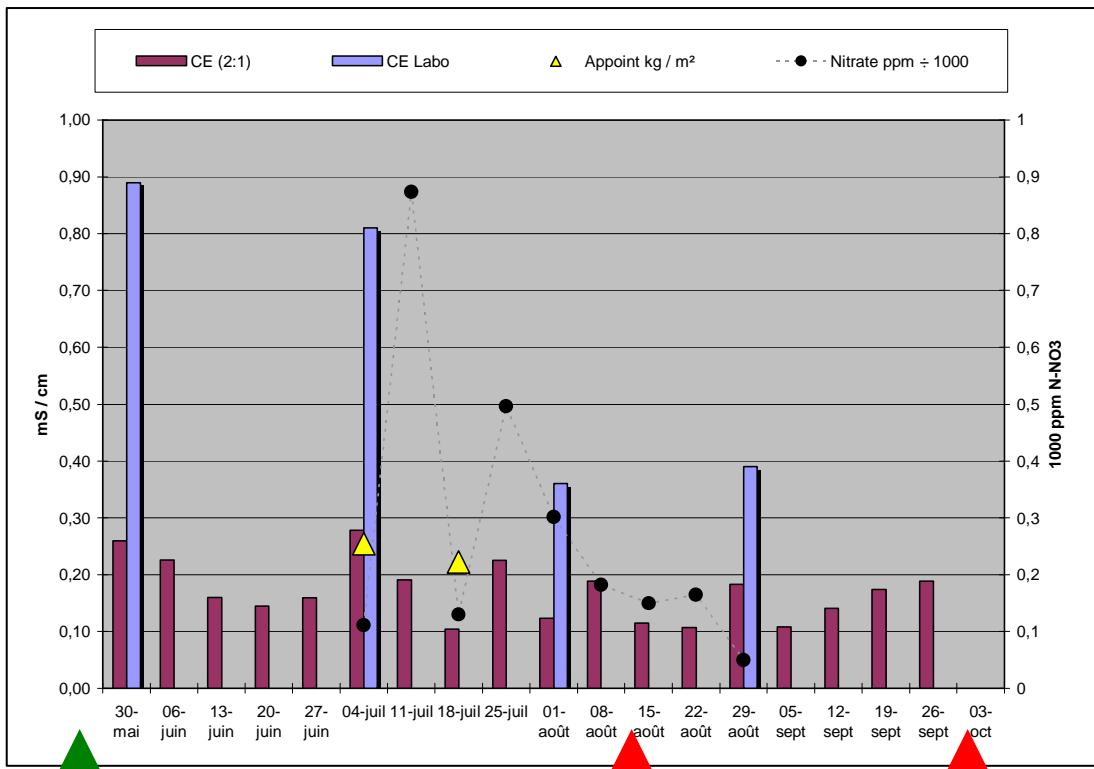
**Figure 4.** Évaluation des besoins en nutriments et des apports en fertilisants de base et d'appoint pour le concombre.



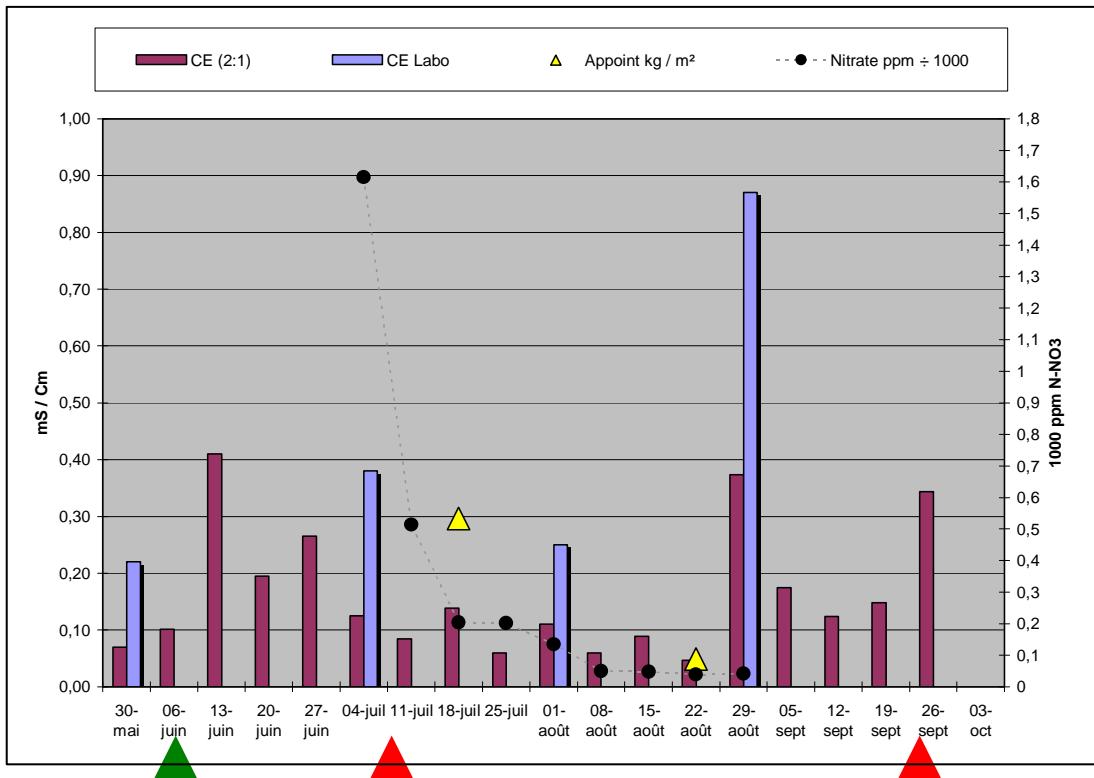
**Figure 5.** Résultats des quatre analyses SSE réalisées par le laboratoire ainsi que les valeurs de références (Optimum) pour le concombre.



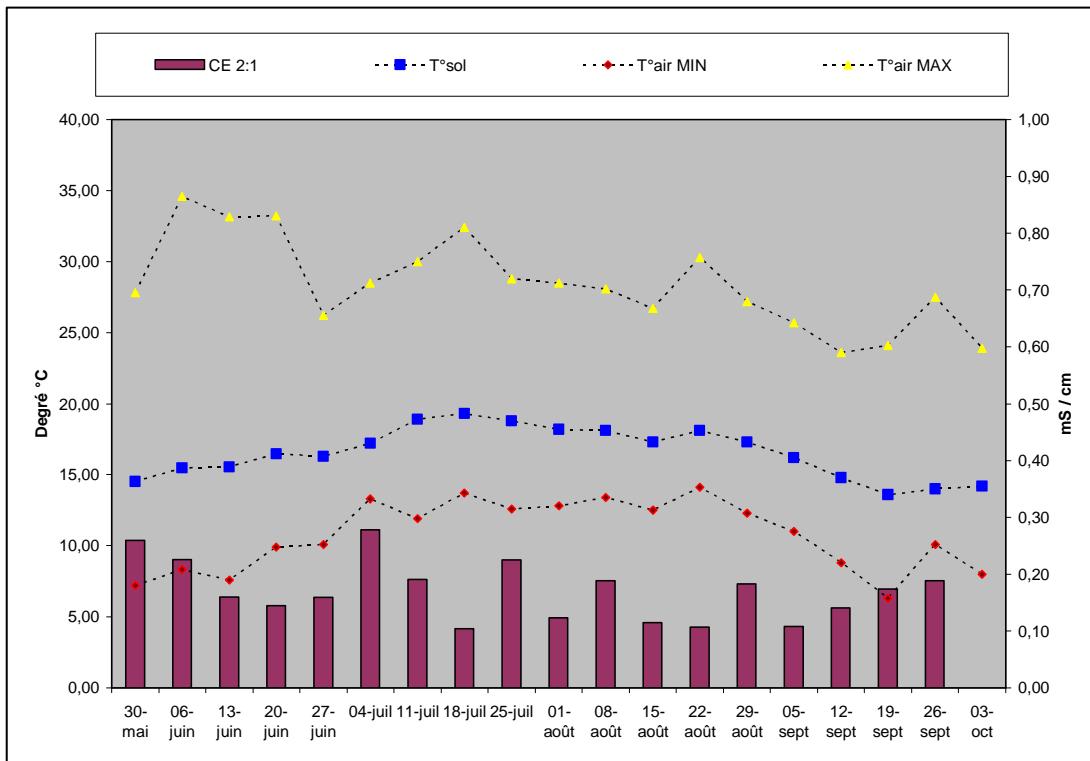
**Figure 6.** Résultats des deux analyses (début et fin de culture) standards qui ont été réalisées par le laboratoire pour le concombre.



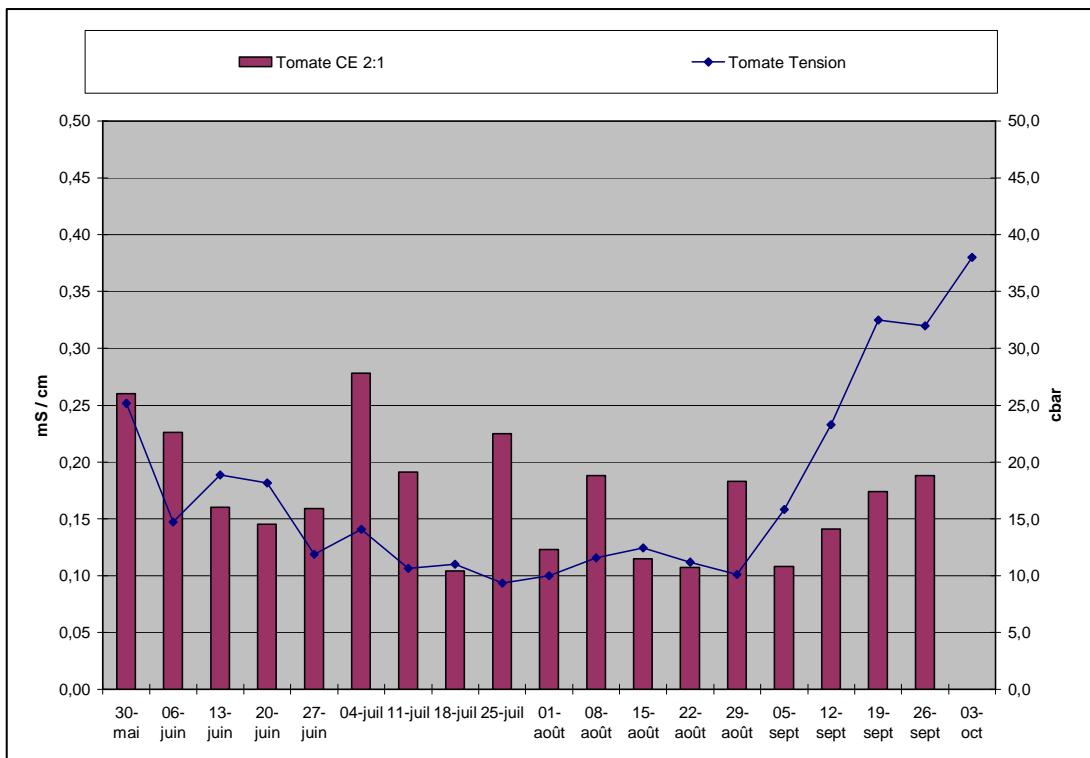
**Figure 7.** Progression de la CE-maison (2:1) tout au cours de la saison de production pour la tomate. Plantation ( $\blacktriangle$ ) : 18 mai. Récolte ( $\blacktriangle$ ) : 14 août - 1<sup>er</sup> octobre. Application des engrains organiques ( $\Delta$ ) : 3 et 17 juillet.



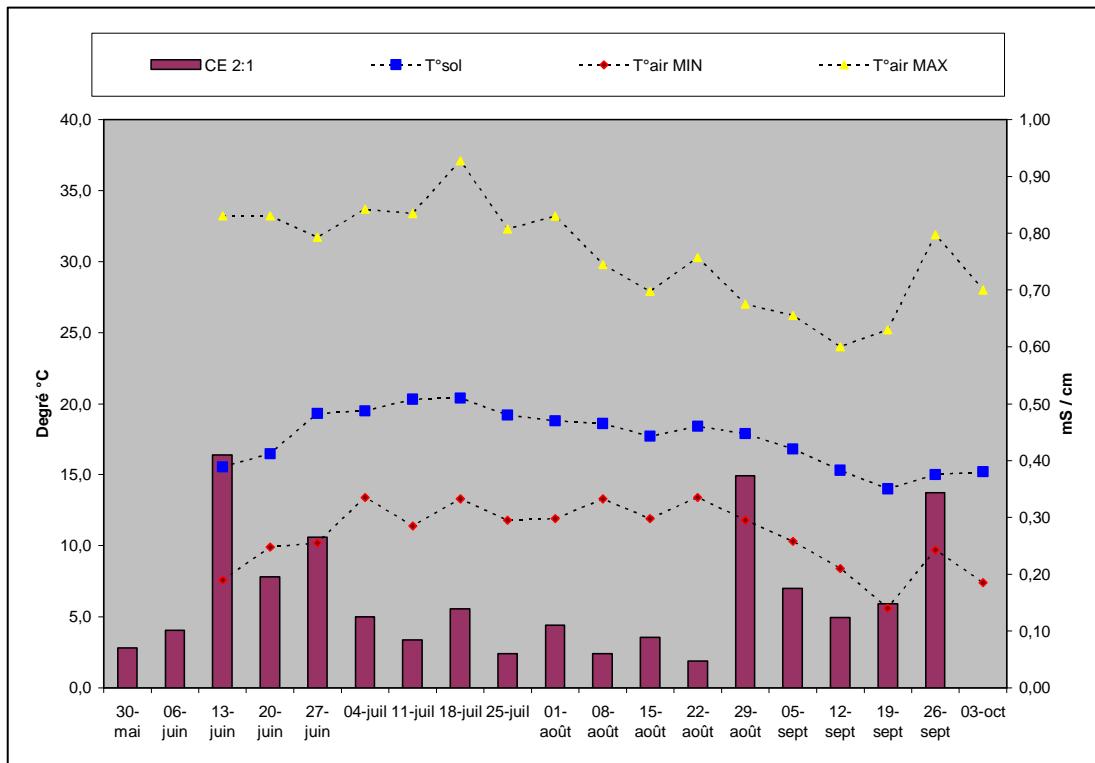
**Figure 8.** Progression de la CE-maison (2:1) tout au cours de la saison de production pour le concombre. Plantation ( $\blacktriangle$ ) : 6 juin. Récolte ( $\blacktriangle$ ) : 7 juillet - 26 septembre. Application des engrains organiques ( $\Delta$ ) : 17 et 27 juillet.



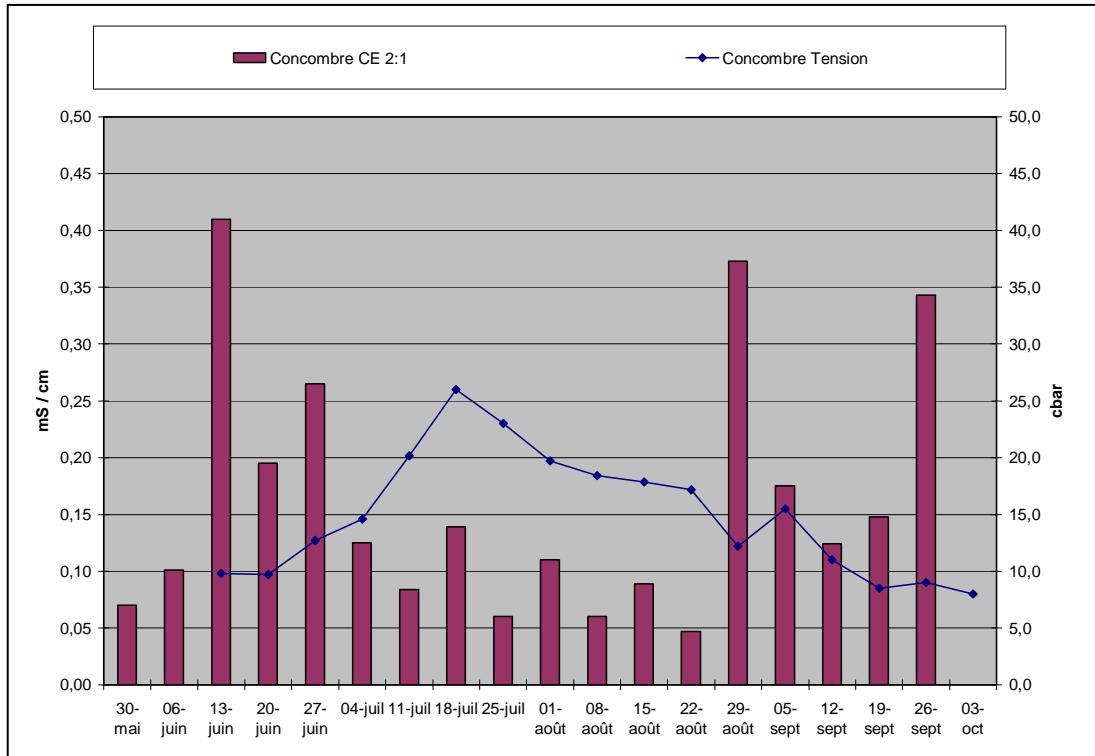
**Figure 9.** Progression des températures de l'air (minimum et maximum) et de sol, ainsi que la CE-maison de la saison 2011 pour la tomate.



**Figure 10.** Progression de la tension du sol et de la CE-maison pour la tomate.



**Figure 11.** Progression des températures de l'air (minimum et maximum) et de sol, ainsi que la CE-maison de la saison 2011 pour le concombre.



**Figure 12.** Progression de la tension du sol et de la CE-maison pour le concombre.

## 5.2 La ferme B

### 5.2.1 Évaluation des besoins en nutriments et des apports en fertilisants de base et d'appoint.

Les besoins en éléments nutritifs (N, P, K, Ca et Mg) ont été évalués selon les objectifs de rendement fixés par l'entreprise, soit : 35 kg/m<sup>2</sup> pour la tomate et 10 kg/m<sup>2</sup> pour le concombre. Les besoins en éléments nutritifs correspondants sont présentés respectivement dans les figures 13 et 16.

Le tableau 5 indique la date et le dosage de l'engrais organique utilisé avec les cultures de tomates et de concombres. Il n'y a pas eu d'épandage de compost en début de saison. C'est la farine de crevettes (8,5-6-1,2; 7,3% Ca et 7,1% Mg) qui a été sélectionné pour la fumure d'appoint. Étant donné les caractéristiques physiques de cet engrais et de la date d'application, un taux de libération de 75 % des éléments nutritifs pour la saison de culture 2011 a été considéré pour calculer la valeur de l'apport d'appoint. Les figures 13 et 16 présentent aussi l'évaluation des nutriments qui ont été rendus disponibles pour les plantes au cours de la saison de culture par la fertilisation d'appoint.

En résumé, si l'on compare pour chacun des éléments nutritifs étudiés les besoins théoriques versus les apports externes (contribution du sol exclue) qui ont été faits en 2011, on obtient les pourcentages qui sont présentés ci-contre :

	Tomate (objectif 14 kg)	Tomate (objectif 35 kg)	Concombre (objectif 10 kg)
N	36%	15%	51%
P	33%	13%	47%
K	3%	1%	5%
Ca	31%	13%	44%
Mg	91%	37%	128%

Tableau 5. Dates et dosages des apports de compost et d'engrais organiques sur les cultures de tomates et de concombres.

Date	Tomate (kg / 100 m <sup>2</sup> )	Fertilisant	Concombre (kg / 100 m <sup>2</sup> )	Fertilisant
Fertilisation de base				
Fertilisation d'appoint				
15 juillet	24,0	Farine crevettes	24,0	Farine crevettes

### 5.2.2 Résultats des analyses SSE et standards réalisées par le laboratoire

Les figures 14 et 17 montrent respectivement pour la tomate et le concombre, les résultats des trois analyses SSE réalisées par le laboratoire. Ces figures donnent aussi les valeurs optimales qui sont utilisées comme valeurs de référence. Selon les valeurs optimales, les trois analyses effectuées en 2011 dans la tomate montreraient un niveau de disponibilité des cinq éléments nutritifs (N, P, K, Ca et Mg) qui est faible, surtout pour les mois de juillet et août. Pour le concombre, c'est différent, les concentrations en éléments nutritifs sont supérieures en juin aux valeurs optimales (sauf pour le P). Pour juillet et août, les concentrations sont plus faibles que les valeurs optimales, mais tout même assez proche.

Les figures 15 et 19 montrent respectivement pour la tomate et le concombre, les résultats des deux analyses standards (début et fin de culture) qui ont été réalisées par le laboratoire. Dans l'ensemble, on remarque une baisse des

éléments nutritifs, sauf pour le P, qui a légèrement augmenté dans les deux cultures. L'élément qui a été le plus affecté est le K dans la culture de tomates. L'indice de fertilité global (CEC) des sols a baissé de 12 % pour la tomate et de 17 % pour le concombre. Les pourcentages obtenus en comparant les analyses standards de début et de fin sont présentés ci-contre :

	Tomate	Concombre
P	103%	112%
K	59%	83%
Ca	98%	99%
Mg	82%	88%
CEC	88%	83%

Le tableau 6 présente les résultats de l'analyse standard à la fin de la saison de culture pour la tomate et le concombre. On note que plusieurs éléments présentent une cote TR (très riche) ou ER (excessivement riche). L'analyse standard présente la fertilité à long terme d'un sol, et de ce côté, la dernière analyse standard montre des sols riches. Dans la parcelle de sol qui accueillait la culture de concombres, la concentration en K est très élevée et pourrait occasionner le blocage des autres éléments nutritifs comme le Ca et le Mg. Cet aspect sera à surveiller au cours de prochaines années. Par contre, les analyses SSE ne reflètent pas tout ce potentiel de richesse.

Tableau 6. Résultats de l'analyse standard réalisée à la fin de la saison de culture.

	Tomate		Concombre	
	(%)		(%)	
MO	9,4	TR	9,0	TR
	(kg/ha)		(kg/ha)	
P	601	ER	554	ER
K	866	ER	2 761	ER
Ca	9 197	TR	8 450	TR

Mg	895 (mEq/100 g)	ER	1 055 (mEq/100 g)	ER
CEC	25,7	R	25,9	R

### 5.2.3 Mesure de la CE avec la technique 2:1 et mesure du contenu en nitrate des tissus foliaires

Les figures 19 et 20 (tomate et concombre respectivement) présentent la progression des mesures de la CE (2 :1), tout au cours de la saison. Sur ces figures, il a été ajouté les résultats des CE mesurés en laboratoire et les concentrations en nitrate des feuilles (mesures réalisées avec le Nitracheck).

Pour la tomate, la seule application d'engrais ne semble pas avoir affecté la CE-maison. D'autre part, cette application aurait provoqué la hausse de la concentration en nitrate des feuilles de façon très marquée. Pour le concombre, ce seul apport d'appoint ne semble pas avoir eu d'effet sur la CE-maison. Dans l'ensemble pour la tomate, on n'observe que la CE est plus faible que la CE acceptable entre 1,5 et 3,0 mS/cm. Malgré ce fait, aucune carence minérale ou autre signe externe n'a pu être observé sur les cultures lors des deux visites effectuées les 7-8 juillet et les 2-3 août 2011. Pour le concombre, si l'on exclut la première mesure qui semble être erratique, les CE du laboratoire étaient dans l'intervalle acceptable, ou très près. Pour la tomate, les concentrations en nitrate dans les feuilles qui ont été obtenues sont beaucoup plus basses que celles qui sont considérées dans la littérature technique comme étant optimales (tableau 1).

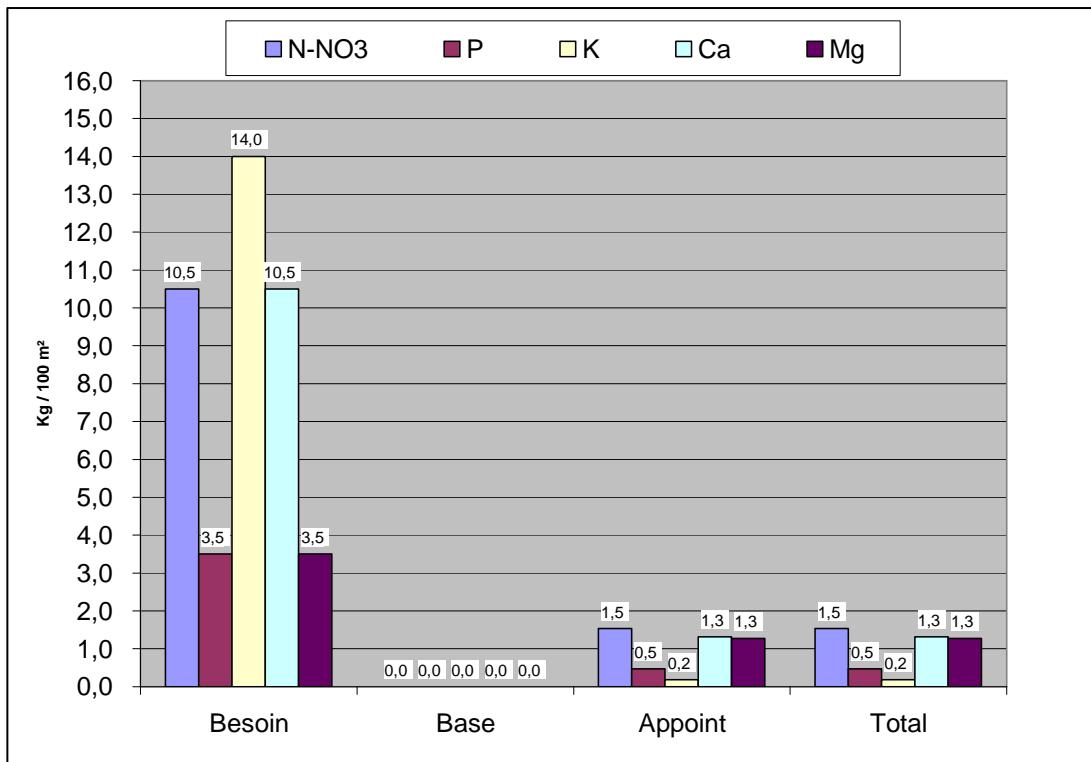
### 5.2.4 Productivité des cultures et suivi des conditions climatiques

Pour la tomate, l'objectif de production était de 35 kg/m<sup>2</sup> et il a été obtenu 11,7 kg/m<sup>2</sup>. Pour le concombre, l'objectif était de 31 fruits/m<sup>2</sup> (fruits de 25-30 cm) ou

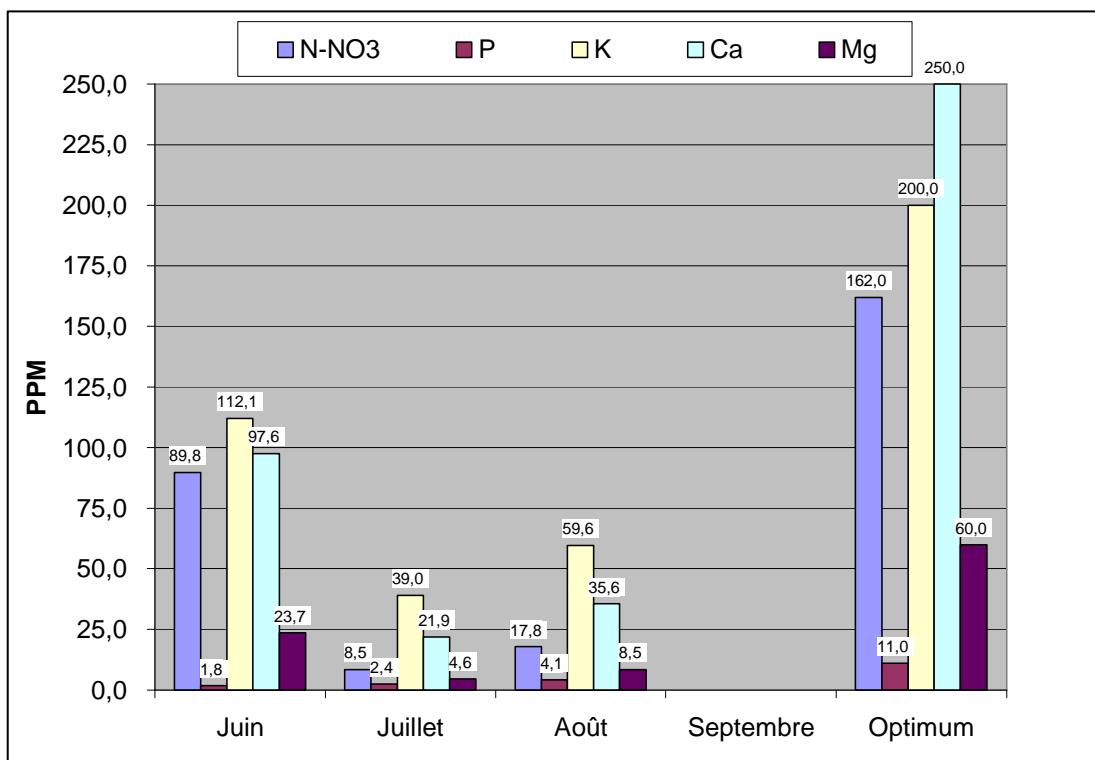
environ 10 kg/m<sup>2</sup> et le résultat a été de 17,3 fruits/m<sup>2</sup> (environ 5,6 kg/m<sup>2</sup>). Il est à noter que la productivité des cultures en 2011 a été affectée par certains problèmes, comme entre autres, la moisissure grise et aussi une autre maladie qui serait de type abiotique et dont la cause n'a toujours pas été identifiée.

Les figures 21 et 23 (tomate et concombre respectivement) donnent un aperçu des conditions climatiques qui ont caractérisé la saison 2011 : température de l'air minimum, température de l'air maximum et température moyenne du sol. Ces valeurs ont été présentées en parallèle avec les mesures de la CE-maison, afin de voir s'il pouvait y avoir une interaction. Dans la période couverte par les mesures, les conditions climatiques ne semblent pas avoir eu d'influence sur la CE du sol. Encore chez ce deuxième producteur, la température de sol a suivi la même tendance que la température minimale.

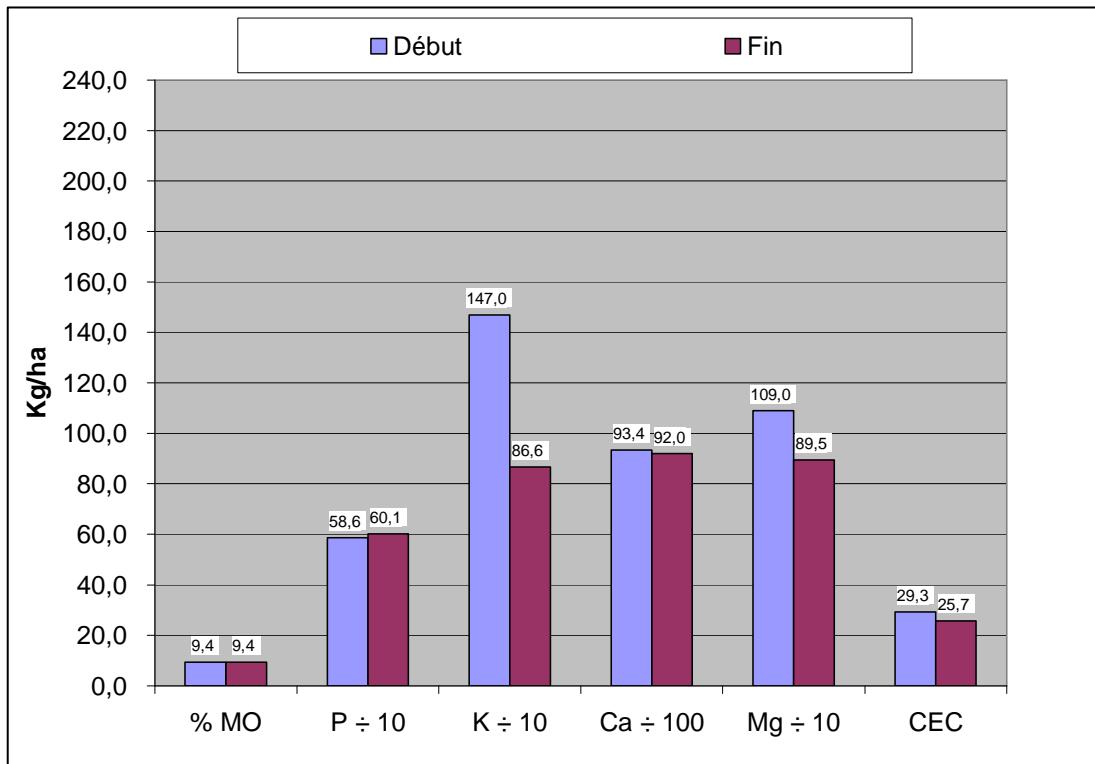
Les figures 22 et 24 (tomate et concombre respectivement) donnent la progression de la tension du sol avec la CE-maison. Selon les résultats obtenus, il ne semble pas y avoir de lien entre ces deux facteurs.



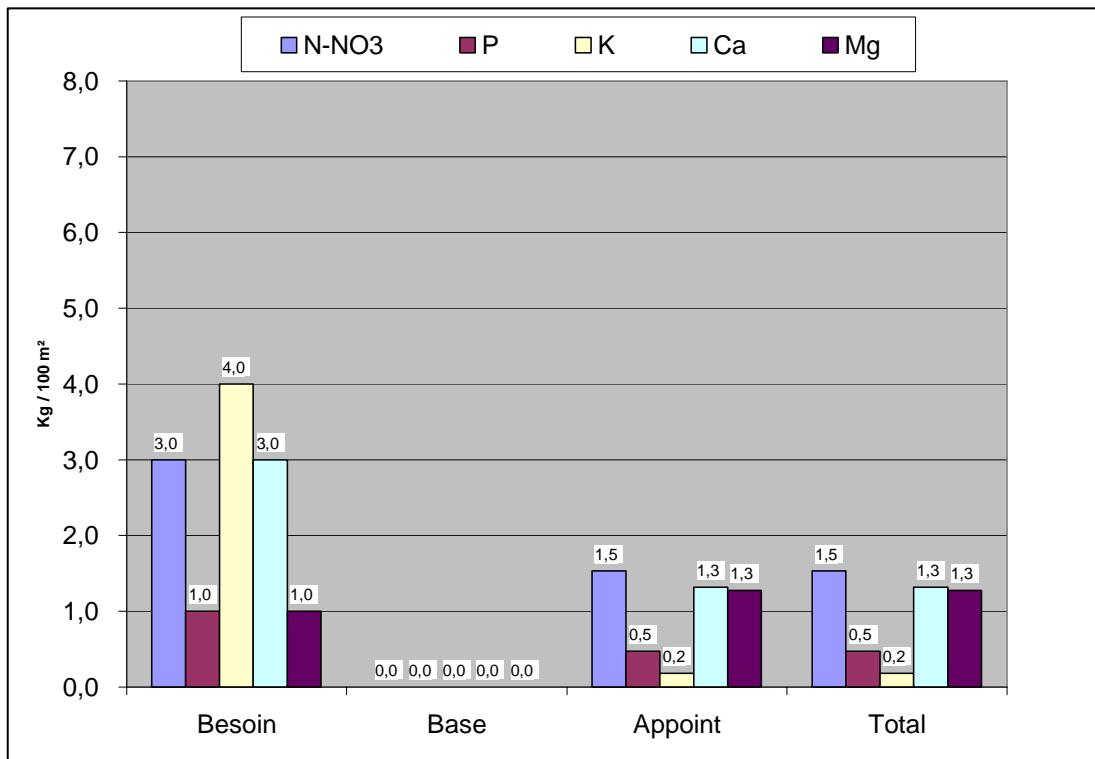
**Figure 13.** Évaluation des besoins en nutriments et des apports en fertilisants de base et d'appoint pour la tomate.



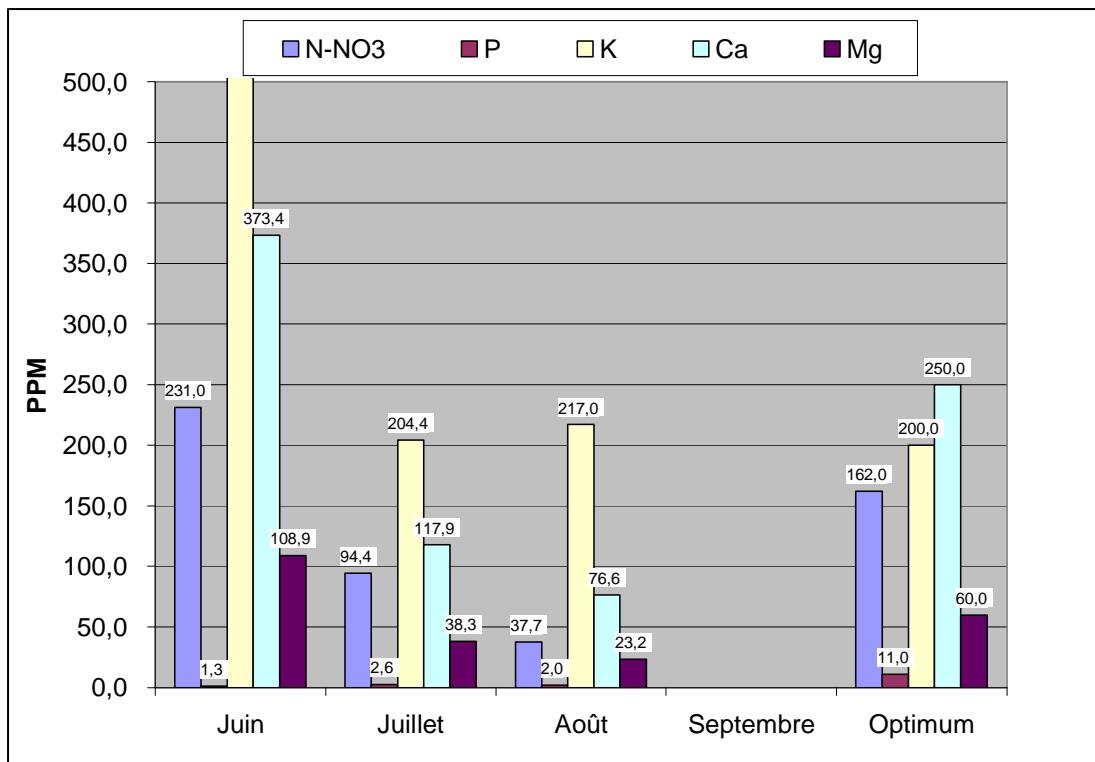
**Figure 14.** Résultats des quatre analyses SSE réalisées par le laboratoire ainsi que les valeurs de références (Optimum) pour la tomate.



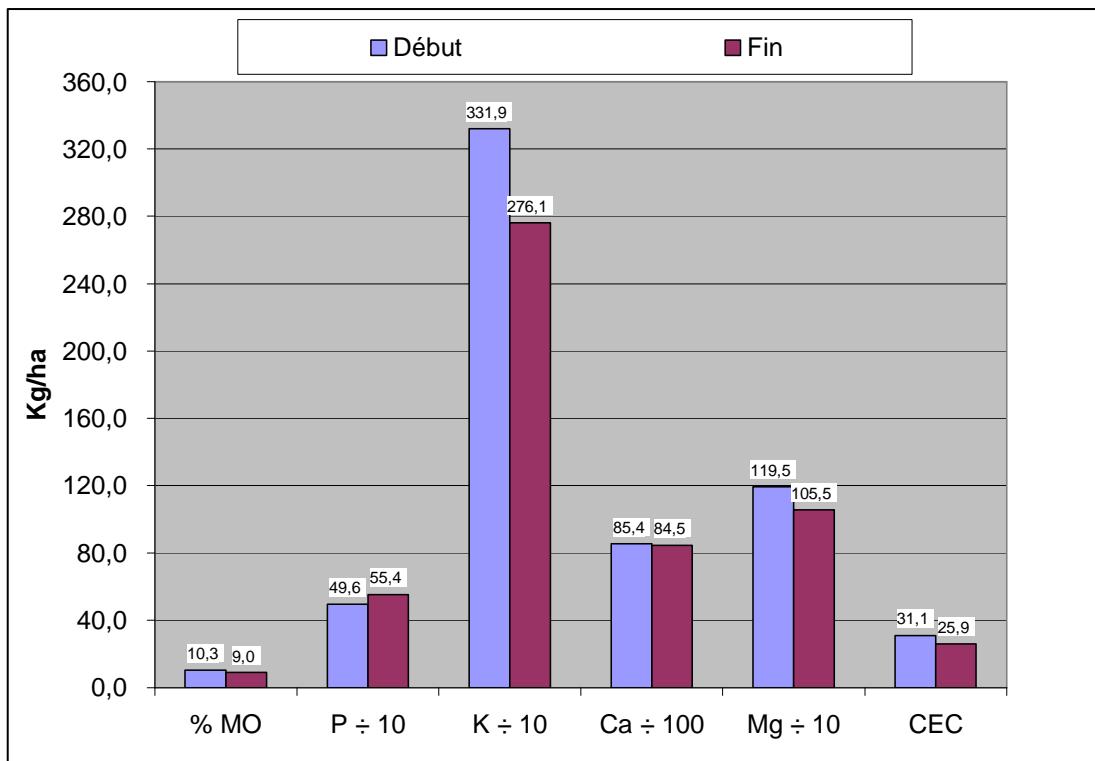
**Figure 15.** Résultats des deux analyses (début et fin de culture) standards qui ont été réalisées par le laboratoire pour la tomate.



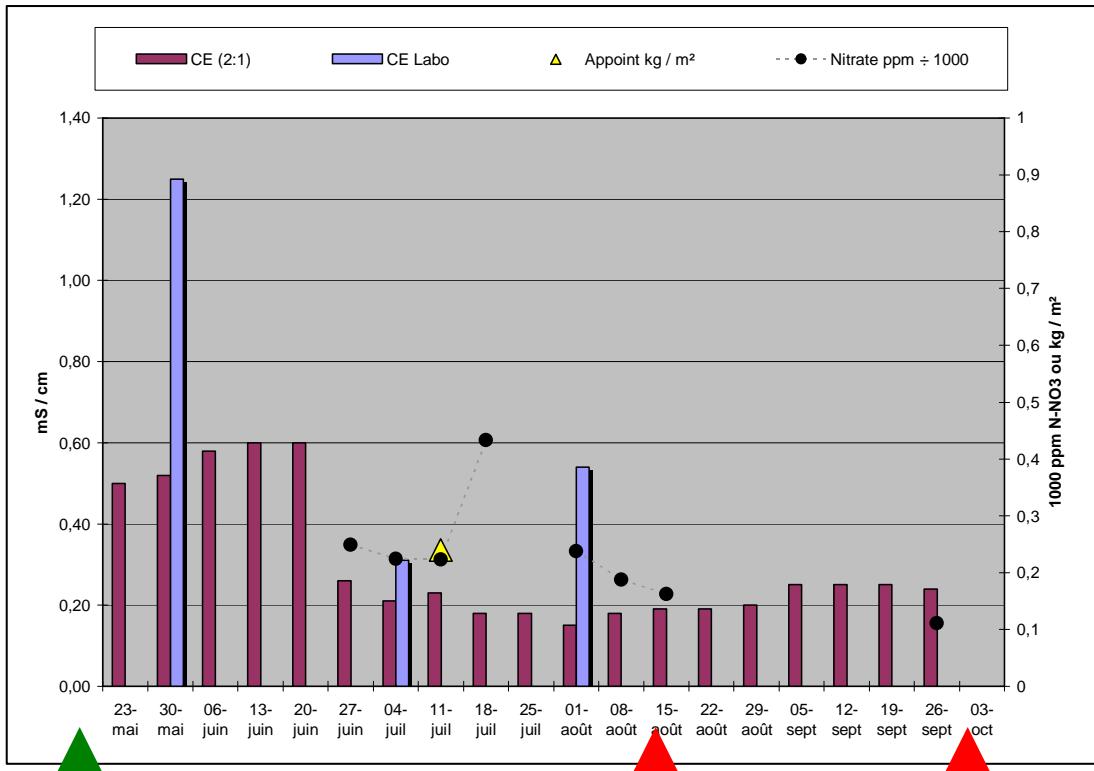
**Figure 16.** Évaluation des besoins en nutriments et des apports en fertilisants de base et d'appoint pour le concombre.



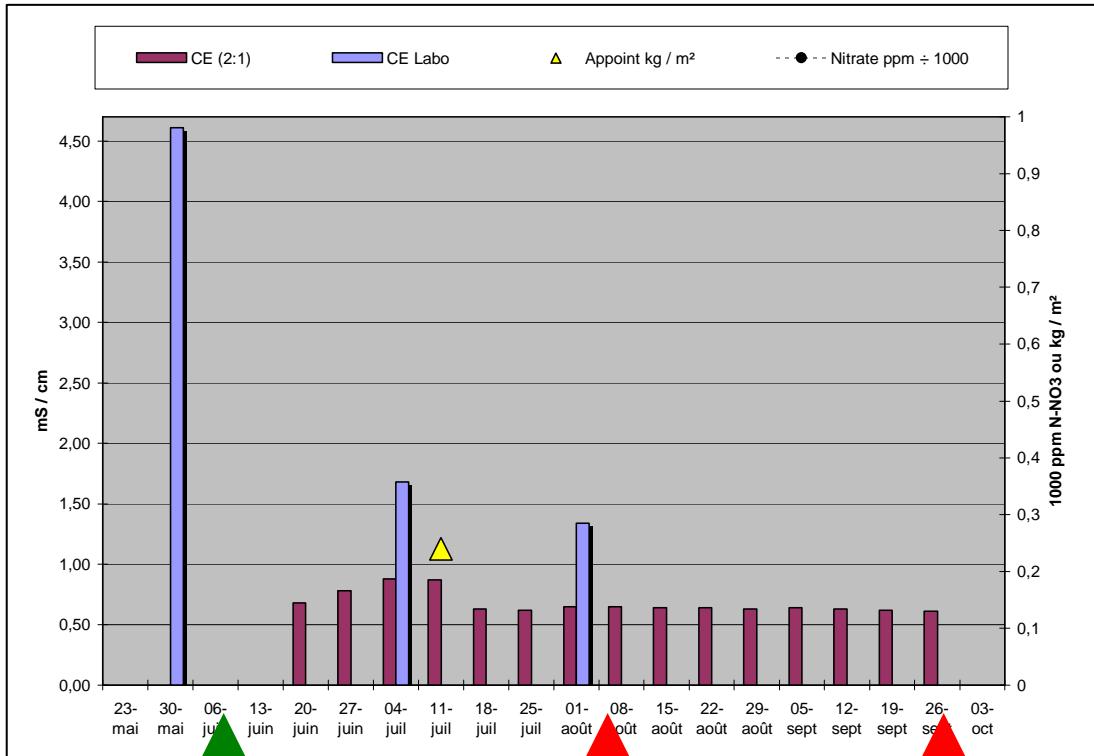
**Figure 17.** Résultats des quatre analyses SSE réalisées par le laboratoire ainsi que les valeurs de références (*Optimum*) pour le concombre.



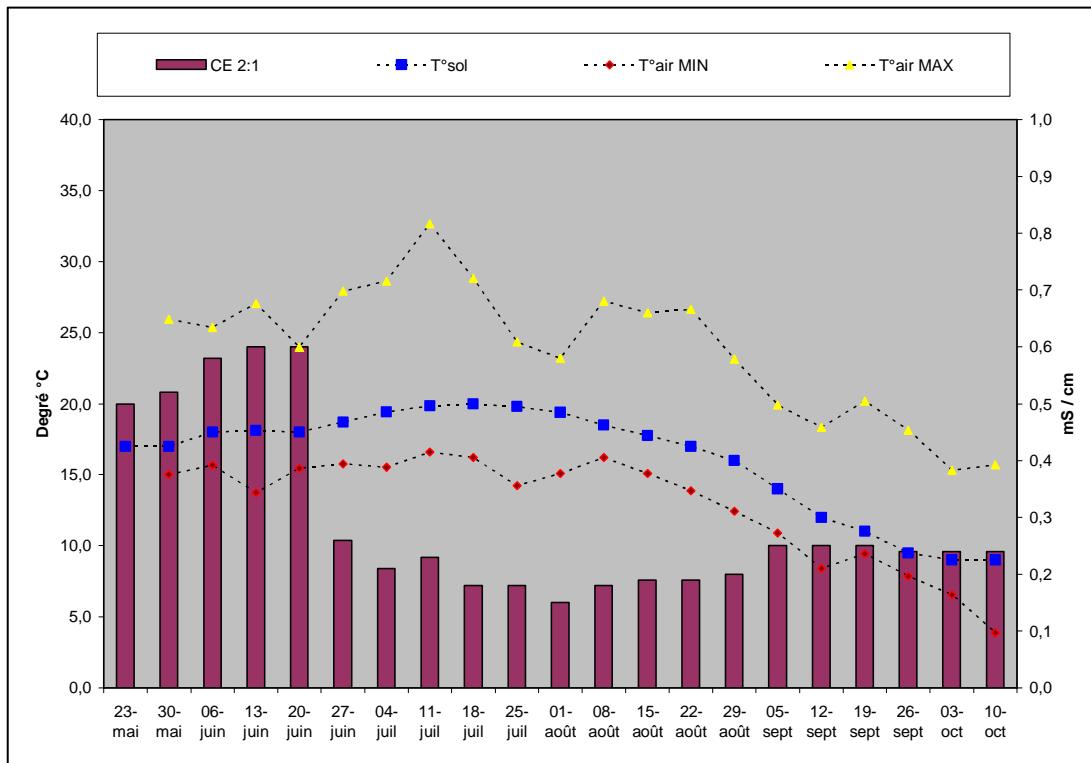
**Figure 18.** Résultats des deux analyses (début et fin de culture) standards qui ont été réalisées par le laboratoire pour le concombre.



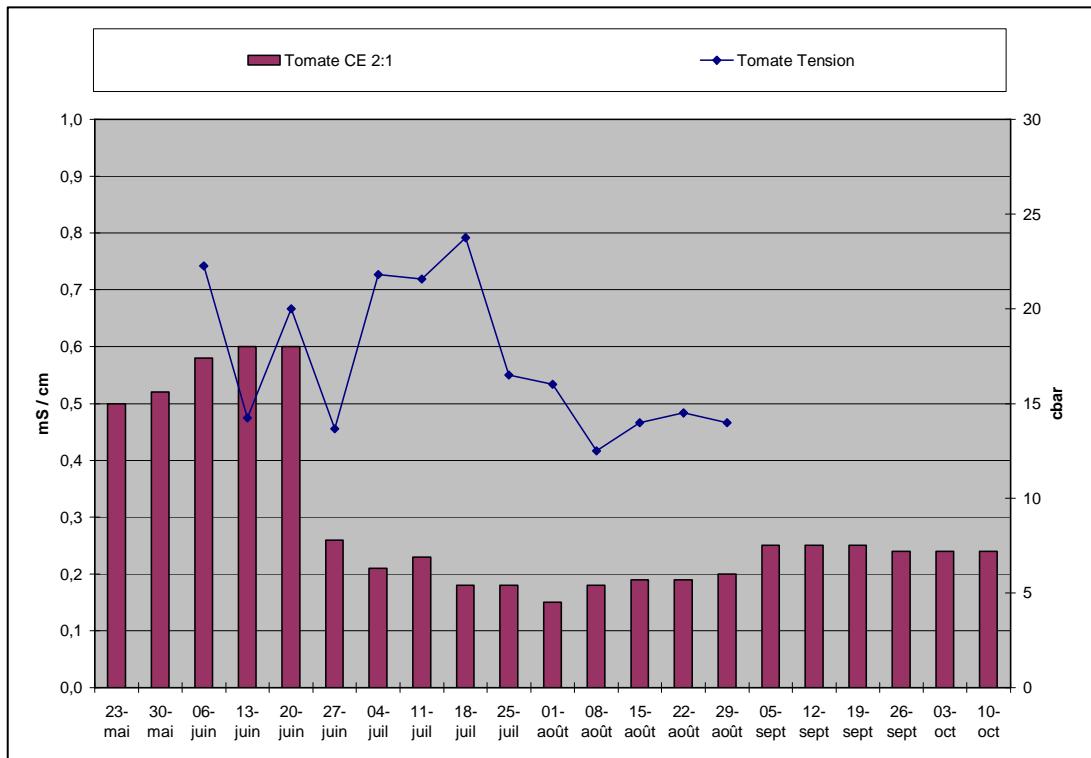
**Figure 19.** Progression de la CE-maison (2:1) tout au cours de la saison de production pour la tomate. Plantation (▲) : 16 mai. Récolte (▲) : 15 août – 3 octobre. Application d'un engrais organique (Δ) : 15 juillet.



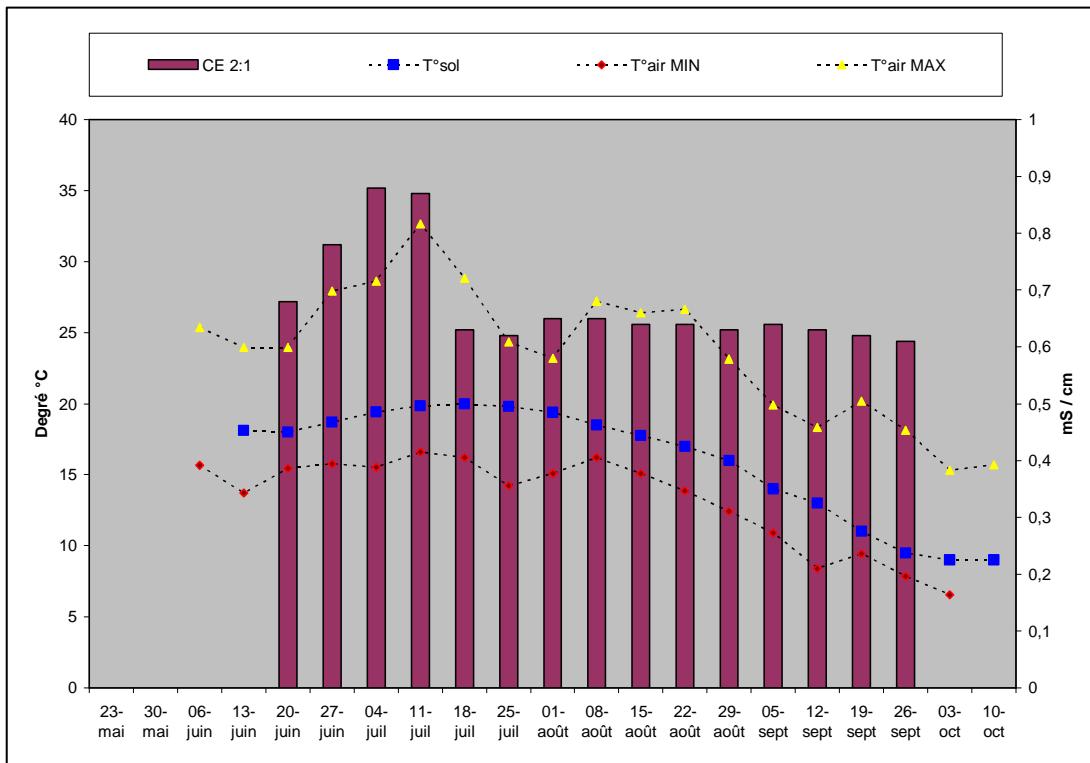
**Figure 20.** Progression de la CE-maison (2:1) tout au cours de la saison de production pour le concombre. Plantation (▲) : 7 juin. Récolte (▲) : 4 août- 28 septembre. Application d'un engrais organique (Δ) : 15 juillet.



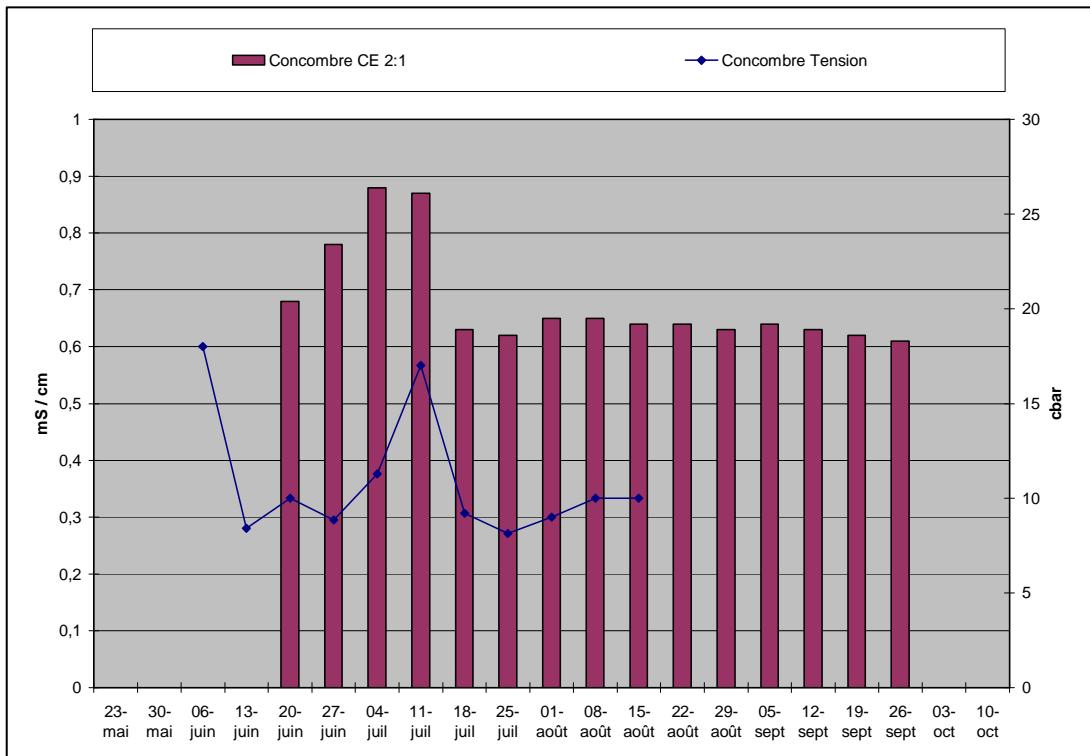
**Figure 21.** Progression des températures de l'air (minimum et maximum) et de sol, ainsi que la CE-maison de la saison 2011 pour la tomate.



**Figure 22.** Progression de la tension du sol et de la CE-maison pour la tomate.



**Figure 23.** Progression des températures de l'air (minimum et maximum) et de sol, ainsi que la CE-maison de la saison 2011 pour le concombre.



**Figure 24.** Progression de la tension du sol et de la CE-maison pour le concombre.

## 5.3 La Ferme C

### 5.3.1 Évaluation des besoins en nutriments et des apports en fertilisants de base et d'appoint.

Les besoins en éléments nutritifs (N, P, K, Ca et Mg) ont été évalués selon les objectifs de rendement fixés par l'entreprise, soit : 15 kg/m<sup>2</sup> pour la tomate et 10 kg/m<sup>2</sup> pour le concombre. Les besoins en éléments nutritifs correspondants sont présentés respectivement dans les figures 25 et 28.

Le tableau 7 donne les dates des fumures de base et d'appoint qui ont été effectuées pour les cultures de tomates et de concombres. Au début du mois de mai, un épandage a été réalisé avec un mélange fait avec du compost tourbe-crevettes, d'un amendement granulaire à libération lente (algues marines et crevettes; 4-2-1, Organic Ocean) et de Sulpomag (0-0-22, 11 % Mg). Pour l'amendement granulaire, un taux de 50 % de libération des nutriments pour la première année a été considéré. Les différents ajouts de fertilisants en cours de saison ont été faits avec de l'Actisol (4-4-2, 7 % Ca, 0,5 % Mg), de Sulpomag (0-0-22, 11 % Mg) et d'un extrait liquide de concentré d'algues (ASCO-SLE, 0-0-6). Étant donné les caractéristiques physiques de ces engrains et de la date de leur application, un taux de libération de 75 % des éléments nutritifs pour la saison de culture 2011 a été considéré pour calculer la valeur de l'apport d'Actisol, et de 100 % pour les deux autres. Les figures 25 et 28 présentent aussi l'évaluation des nutriments qui ont été rendus disponibles pour les plantes au cours de la saison de culture par la fertilisation d'appoint.

En résumé, si l'on compare pour chacun des éléments nutritifs étudiés les besoins théoriques versus les apports externes (contribution du sol exclue) qui ont été faits en 2011, on obtient les pourcentages qui sont présentés ci-contre :

	Tomate	Concombre
--	--------	-----------

	(objectif 15 kg)	(objectif 10 kg)
N	54%	76%
P	69%	98%
K	43%	66%
Ca	92%	130%
Mg	97%	144%

Tableau 7. Dates et dosages des apports de compost et d'engrais organiques sur les cultures de tomates et de concombres.

Date	Tomate (kg / 100 m <sup>2</sup> )	Fertilisant	Concombre (kg / 100 m <sup>2</sup> )	Fertilisant
Fertilisation de base				
Début mai	400,0	Compost	400,0	Compost*
	2,0	Granules	2,0	Granules
	1,0	Sulpomag	1,0	Sulpomag
Fertilisation d'appoint				
28 juin	5,0	Actisol	53,3	Actisol
29 juin			(L / 100 m <sup>2</sup> ) 2,7*	ASCO-SLE
6 juillet	25,0	Actisol	25,0	Actisol
6 juillet	10,0	Sulpomag	10,0	Sulpomag

\* : 4,5 L / m<sup>2</sup> d'une solution de 6 ml ASCO / L eau.

Tableau 8. Valeur fertilisante du compost tourbe-crevettes selon l'analyse du laboratoire.

Élément minéral	Kg/tonne	Taux de libération 1 <sup>re</sup> année
N	8,3	45 %
P	2,5	65 %
K	0,7	90 %
Ca	18,9	33 %
Mg	1,2	33 %

### 5.3.2 Résultats des analyses SSE et standards réalisées par le laboratoire

Les figures 26 et 29 montrent respectivement pour la tomate et le concombre, les résultats des quatre analyses SSE réalisées par le laboratoire. Ces figures donnent aussi les valeurs optimales qui sont utilisées comme valeurs de référence. Selon les valeurs optimales, les quatre analyses effectuées en 2011 dans la tomate montreraient un niveau de disponibilité des cinq éléments nutritifs (N, P, K, Ca et Mg) qui est assez faible, surtout pour les mois de juillet et septembre. Pour le concombre, ce n'est pas très différent, les concentrations en éléments nutritifs ont été faibles en juillet, août et septembre.

Les figures 27 et 30 montrent respectivement pour la tomate et le concombre, les résultats des deux analyses standards (début et fin de culture) qui ont été réalisées par le laboratoire. Dans la tomate, on peut noter qu'il y a eu une hausse pour le P et le Mg, et qu'il y a eu une baisse pour le K et le Ca. Pour le concombre, tous les éléments ont baissé. Les éléments qui ont été les plus affectés à la baisse sont le K dans la tomate et le Ca et Mg dans le concombre. L'indice de fertilité global (CEC) des sols a baissé de 2 % pour la tomate et de

26 % pour le concombre. Les pourcentages obtenus en comparant les analyses standards de début et de fin sont présentés ci-contre :

	Tomate	Concombre
P	157%	85%
K	42%	75%
Ca	94%	65%
Mg	153%	49%
CEC	98%	74%

Le tableau 9 présente les résultats de l'analyse standard à la fin de la saison de culture pour la tomate et le concombre. On note que plusieurs éléments présentent une cote TR (très riche) ou ER (excessivement riche). L'analyse standard présente la fertilité à long terme d'un sol, et de ce côté, la dernière analyse standard montre des sols riches.

Dans la parcelle de sol qui accueillait la culture de tomates, les concentrations en P et en Ca sont telles qu'elles pourraient occasionner un blocage pour les éléments nutritifs K et Mg. D'autant plus que la quantité de K est considérée comme étant pauvre (P) dans le sol. On observe la même tendance pour la parcelle où il y avait les concombres, mais l'intensité du phénomène est juste plus faible. Cet aspect sera à surveiller pour le plan de fertilisation des prochaines années, car le K et le Mg sont des éléments très importants pour la qualité des fruits de la tomate et du concombre. L'indice global de fertilité pour les deux parcelles est assez élevé pour que le sol soit considéré comme riche (R). Comme pour les autres producteurs, ce niveau de fertilité élevé ne représente pas nécessairement une forte disponibilité des éléments dans la solution du sol, comme le montrent les différentes analyses SSE réalisées en cours de saison. Cependant, la proportion entre les cations K, Ca et Mg des analyses standards reste assez semblable dans les analyses SSE.

Tableau 9. Résultats de l'analyse standard réalisée à la fin de la saison de culture.

	Tomate		Concombre	
	(%)		(%)	
MO	11,1	TR	8,9	TR
	(kg/ha)		(kg/ha)	
P	1 107	ER	705	ER
K	60	P	77	P
Ca	10 737	ER	7 823	TR
Mg	693	ER	304	R
	(mEq/100 g)		(mEq/100 g)	
CEC	31,1	R	25,0	R

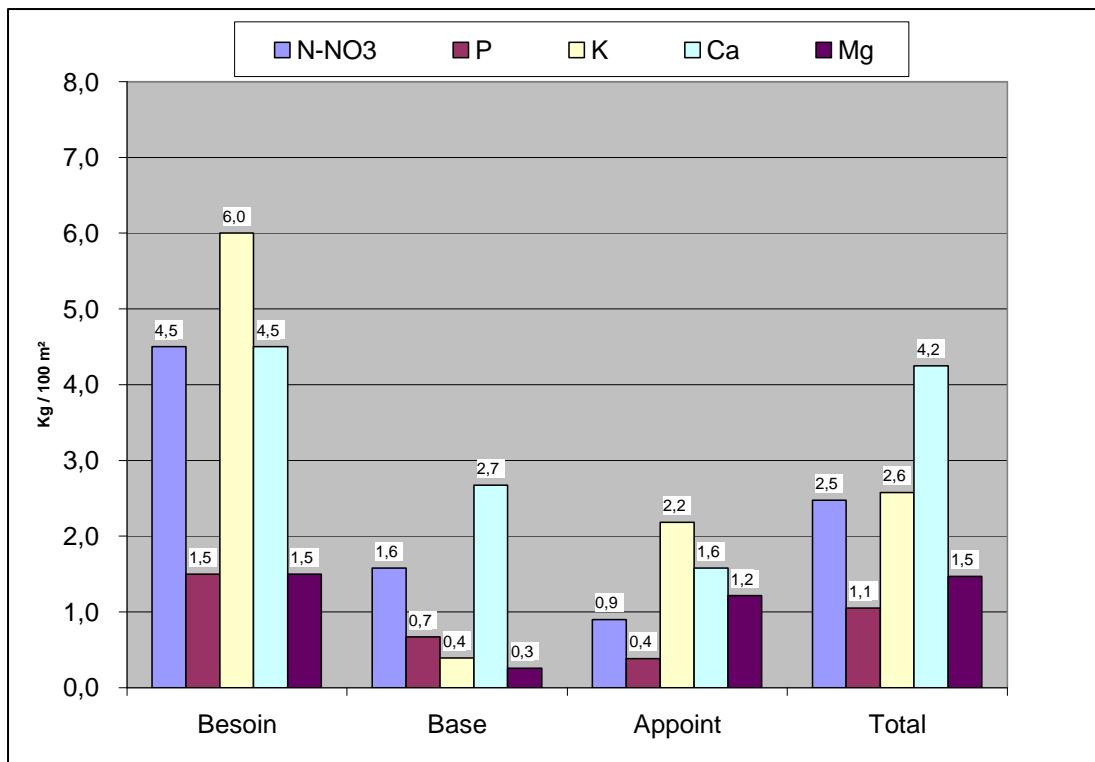
### 5.3.3 Mesure de la CE avec la technique 2:1

Les figures 31 et 32 (tomate et concombre respectivement) présentent la progression des mesures de la CE (2 :1), tout au cours de la saison. Pour la tomate et le concombre, les deux applications rapprochées d'engrais ne semblent pas avoir affecté de manière évidente la CE-maison. Dans l'ensemble pour la tomate, on n'observe que la CE est plus faible que la CE acceptable entre 1,5 et 3,0 mS/cm. Malgré ce fait, aucune carence minérale ou autre signe externe n'a pu être observé sur les cultures lors des deux visites effectuées les 7-8 juillet et les 2-3 août 2011. Pour le concombre, si l'on exclut la première mesure, les CE du laboratoire sont aussi plus faibles que la limite inférieure du 1,5 mS/cm.

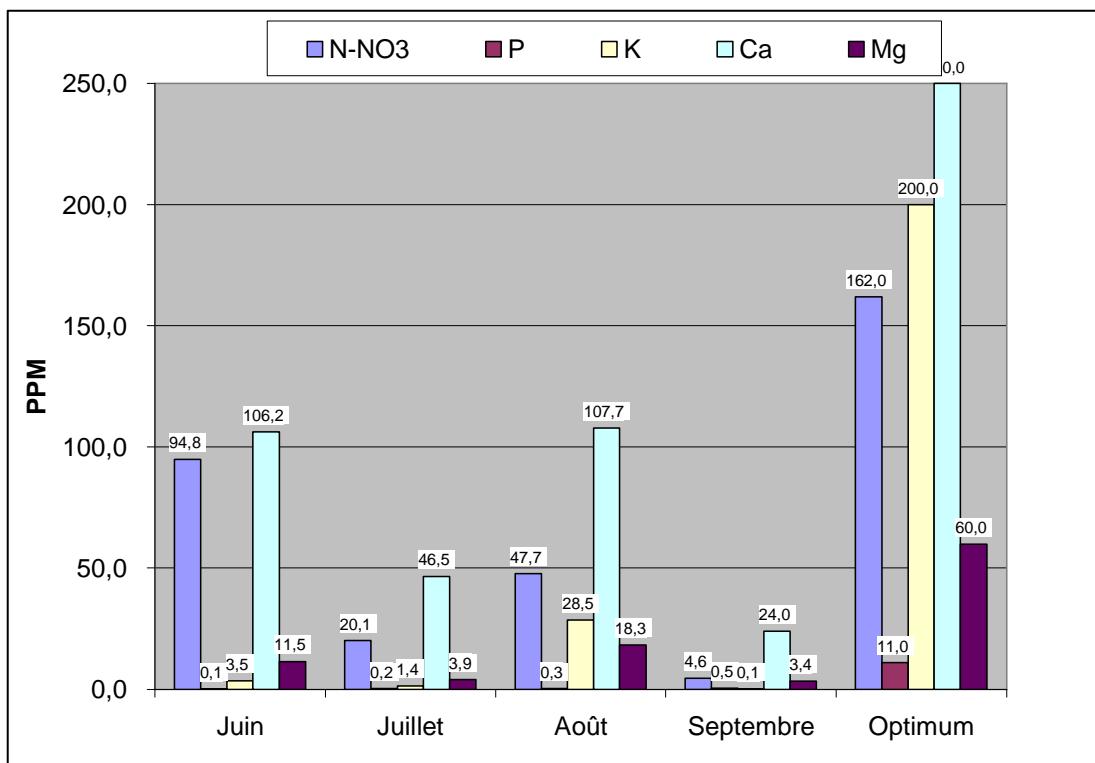
### 5.3.4 Productivité des cultures et suivi des conditions climatiques

Pour la tomate, l'objectif de production était de 15 kg/m<sup>2</sup> et il a été obtenu 12,2 kg/m<sup>2</sup>. La moisissure olive qui était bien présente dans la culture a possiblement limitée la productivité. Pour le concombre, l'objectif était de 10 kg/m<sup>2</sup> et le résultat a été de 10,1 kg/m<sup>2</sup>. Les figures 33 et 35 (tomate et concombre respectivement) donnent un aperçu des conditions climatiques qui ont caractérisé la saison 2011 : température de l'air minimum, température de l'air maximum et température moyenne du sol. Ces valeurs ont été présentées en parallèle avec les mesures de la CE-maison, afin de voir s'il pouvait y avoir une interaction. Dans la période couverte par les mesures, les conditions climatiques ne semblent pas avoir eu d'influence sur la CE du sol. Encore chez ce troisième producteur, la température de sol a suivi la même tendance que la température minimale.

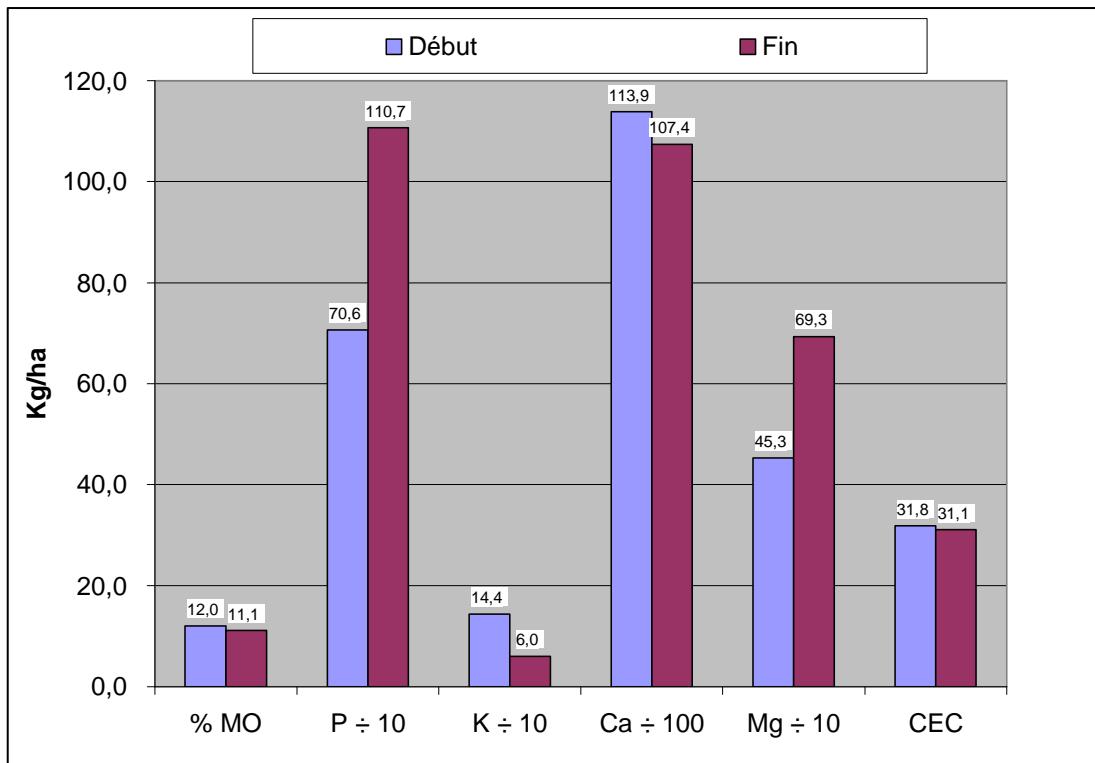
Les figures 34 et 36 (tomate et concombre respectivement) donnent la progression de la tension du sol avec la CE-maison. Selon les résultats obtenus, il ne semble pas y avoir de lien entre ces deux facteurs.



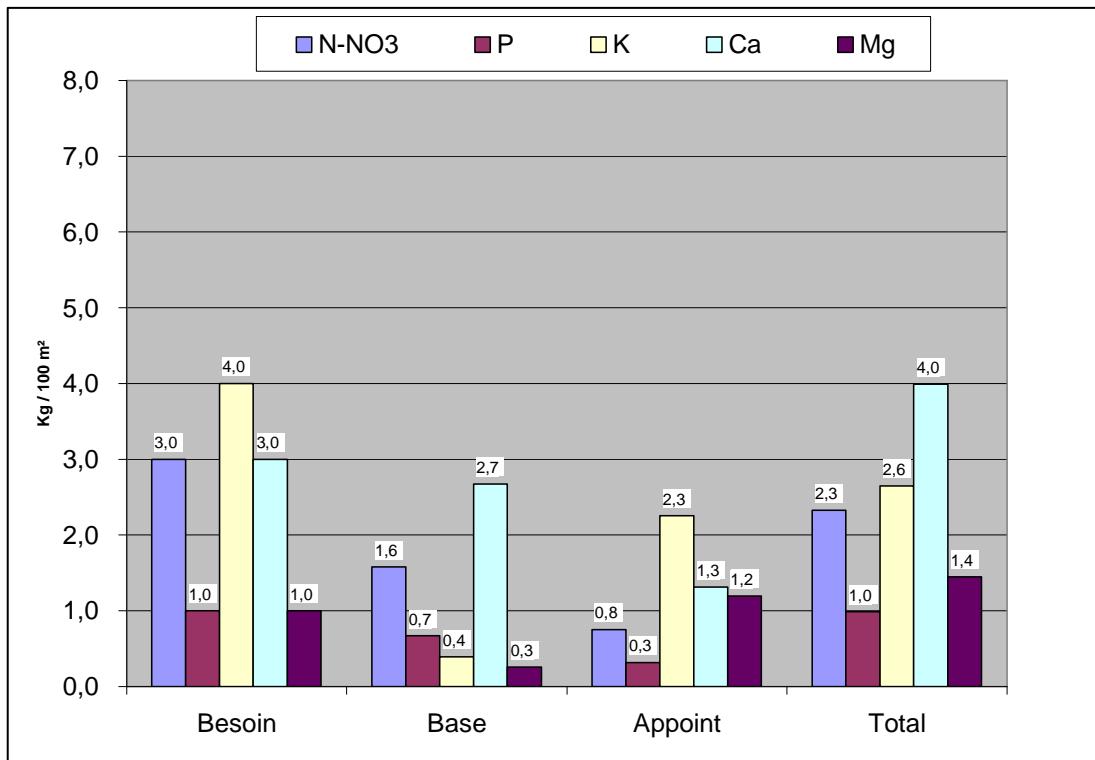
**Figure 25.** Évaluation des besoins en nutriments et des apports en fertilisants de base et d'appoint pour la tomate.



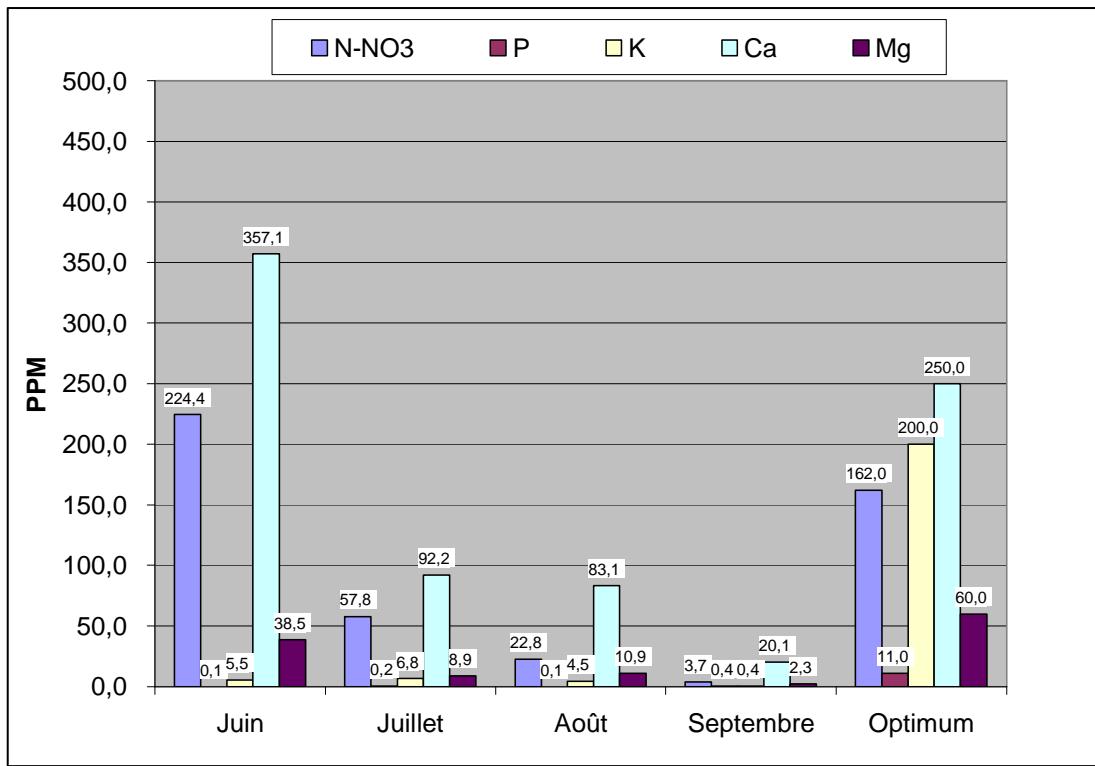
**Figure 26.** Résultats des quatre analyses SSE réalisées par le laboratoire ainsi que les valeurs de références (*Optimum*) pour la tomate.



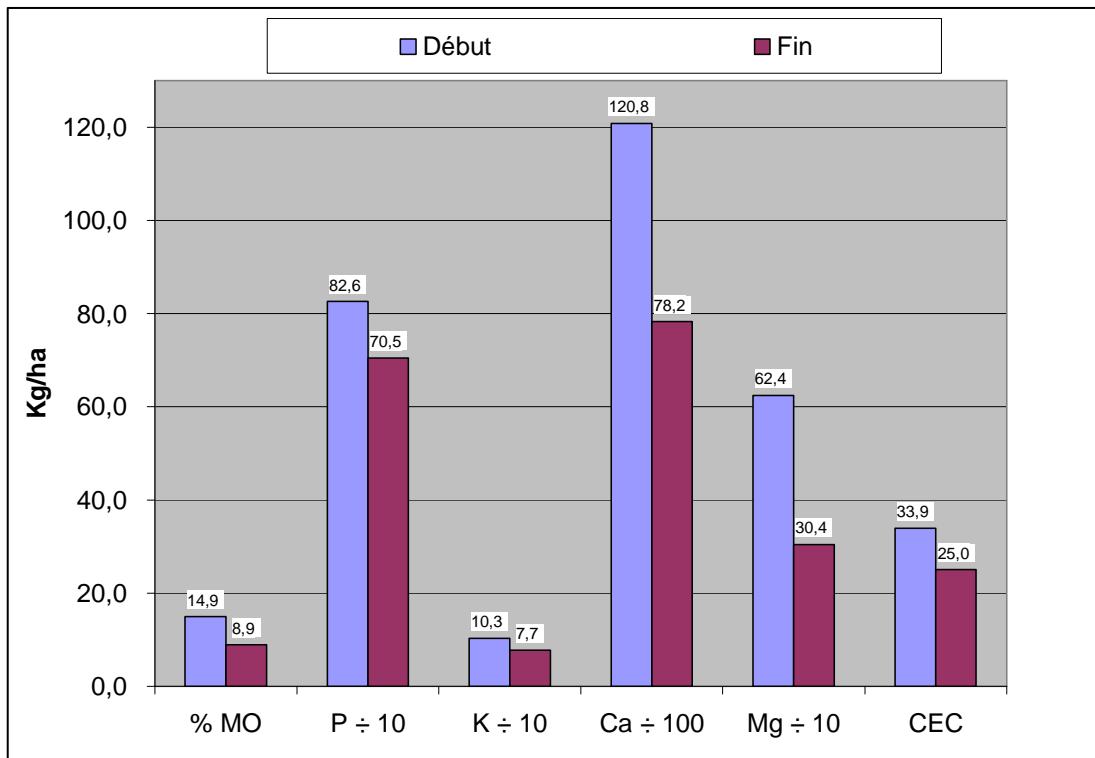
**Figure 27.** Résultats des deux analyses (début et fin de culture) standards qui ont été réalisées par le laboratoire pour la tomate.



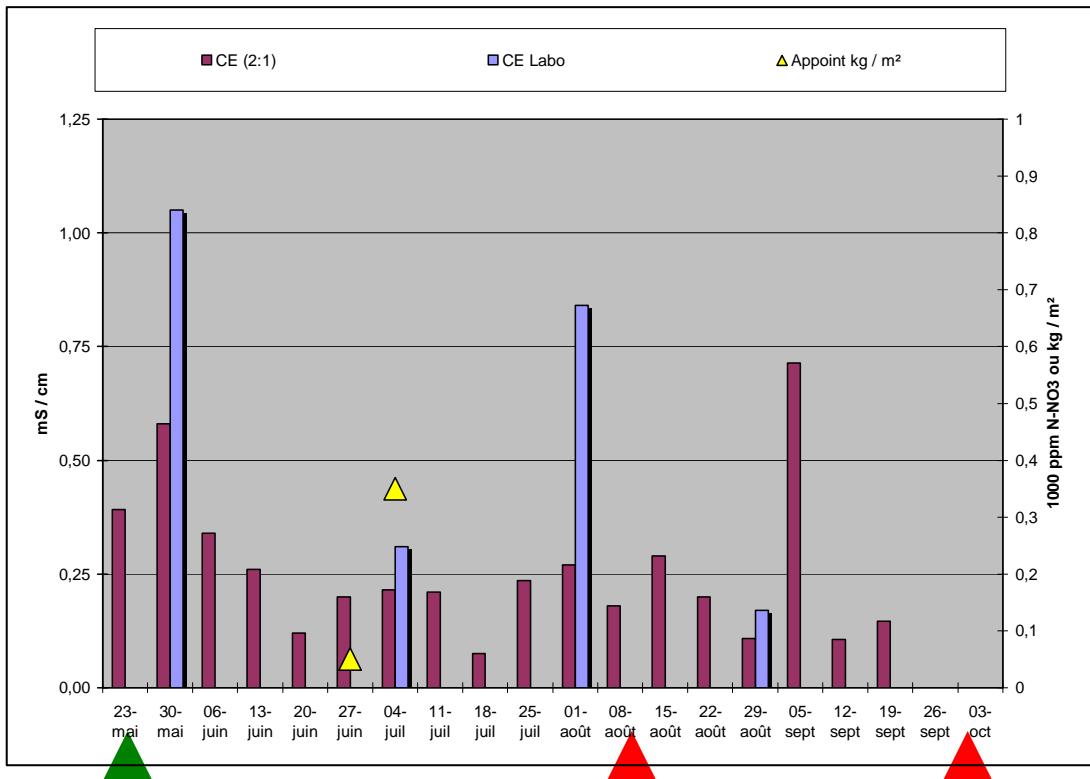
**Figure 28.** Évaluation des besoins en nutriments et des apports en fertilisants de base et d'appoint pour le concombre.



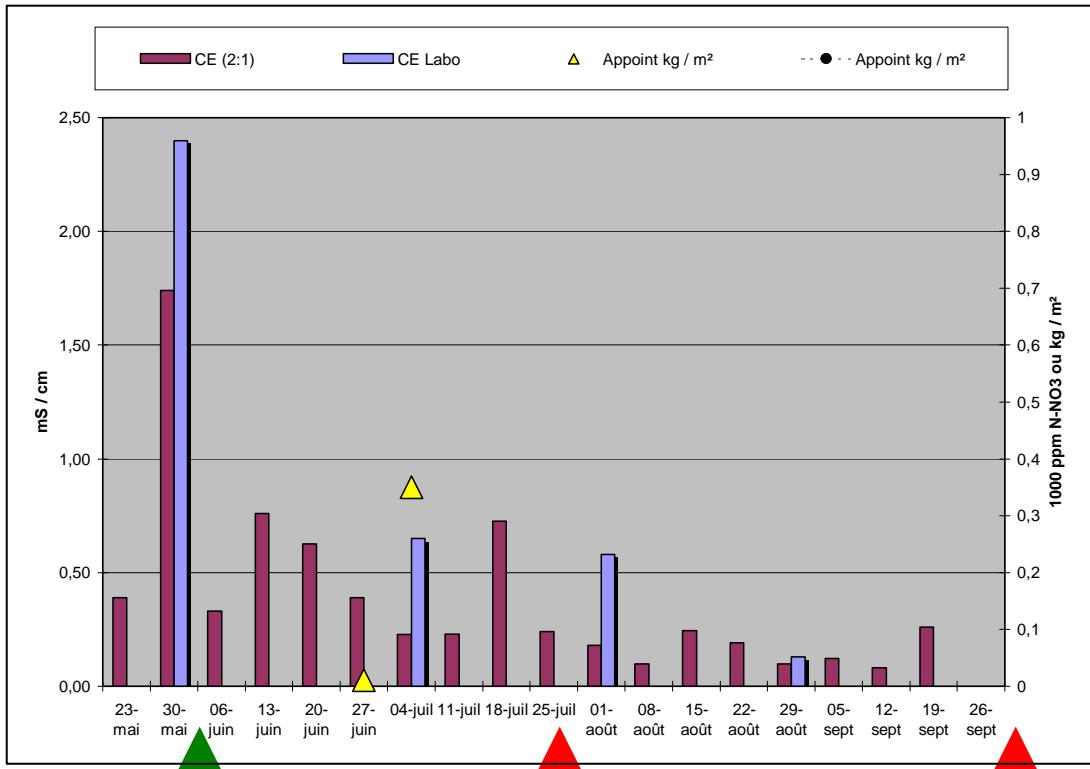
**Figure 29.** Résultats des quatre analyses SSE réalisées par le laboratoire ainsi que les valeurs de références (*Optimum*) pour le concombre.



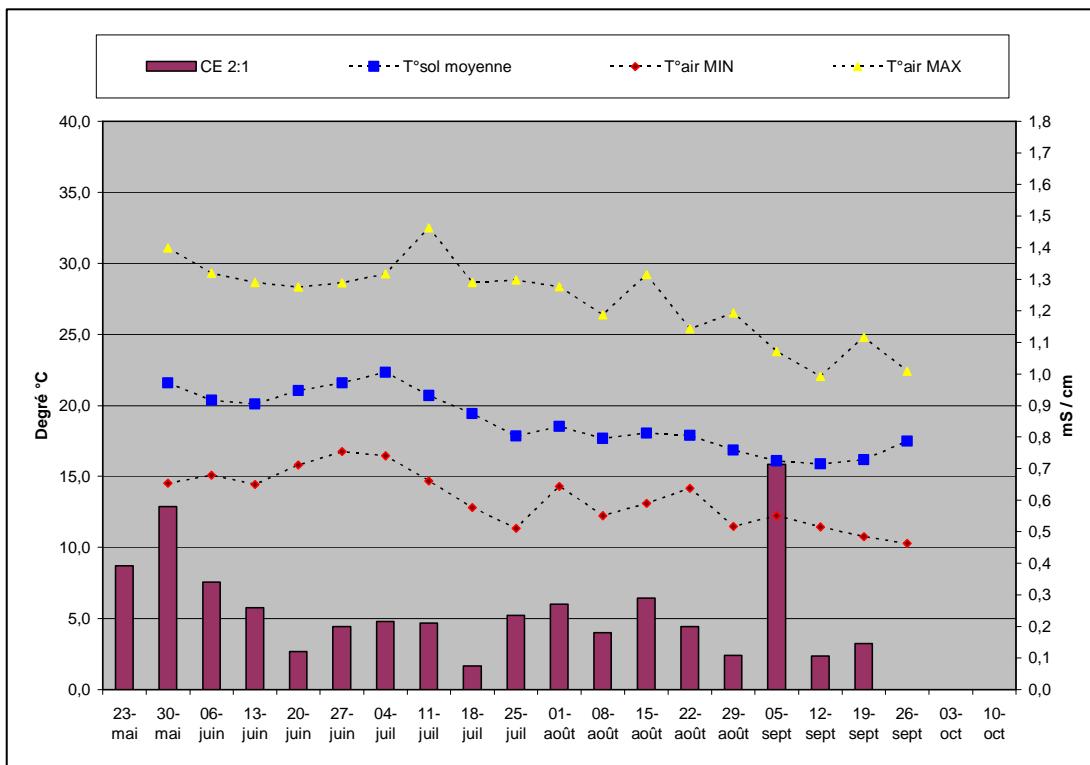
**Figure 30.** Résultats des deux analyses (début et fin de culture) standards qui ont été réalisées par le laboratoire pour le concombre.



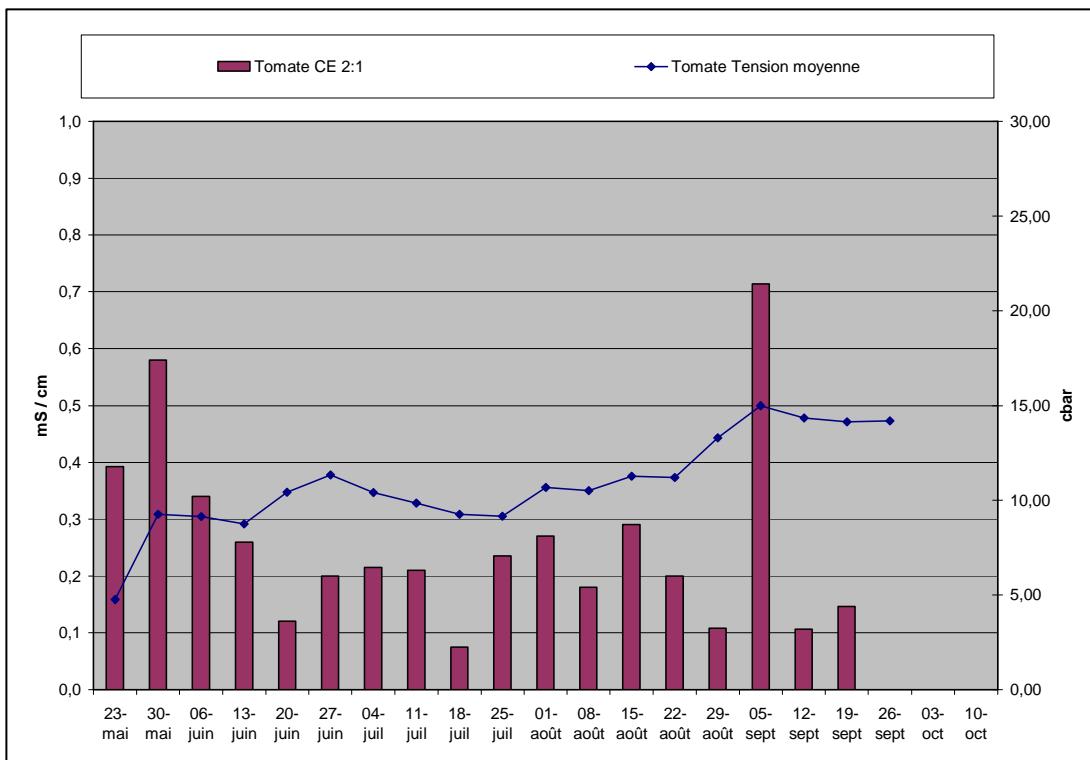
**Figure 31.** Progression de la CE-maison (2:1) tout au cours de la saison de production pour la tomate. Plantation (▲) : 24 mai. Récolte (▲) : 9 août – 4 octobre. Applications des engrains organiques (▲) : 28 juin et 6 juillet.



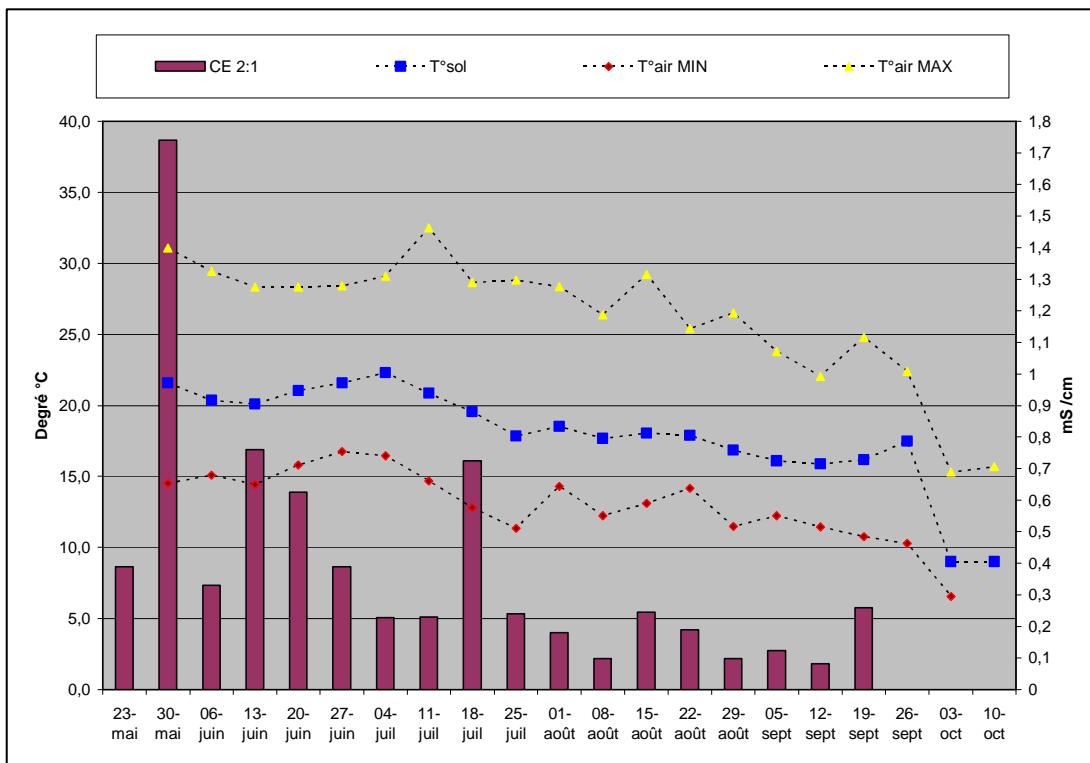
**Figure 32.** Progression de la CE-maison (2:1) tout au cours de la saison de production pour le concombre. Plantation (▲) : 4 juin. Récolte (▲) : 24 juillet - 3 octobre. Applications des engrains organiques (▲) : 28-29 juin et 6 juillet.



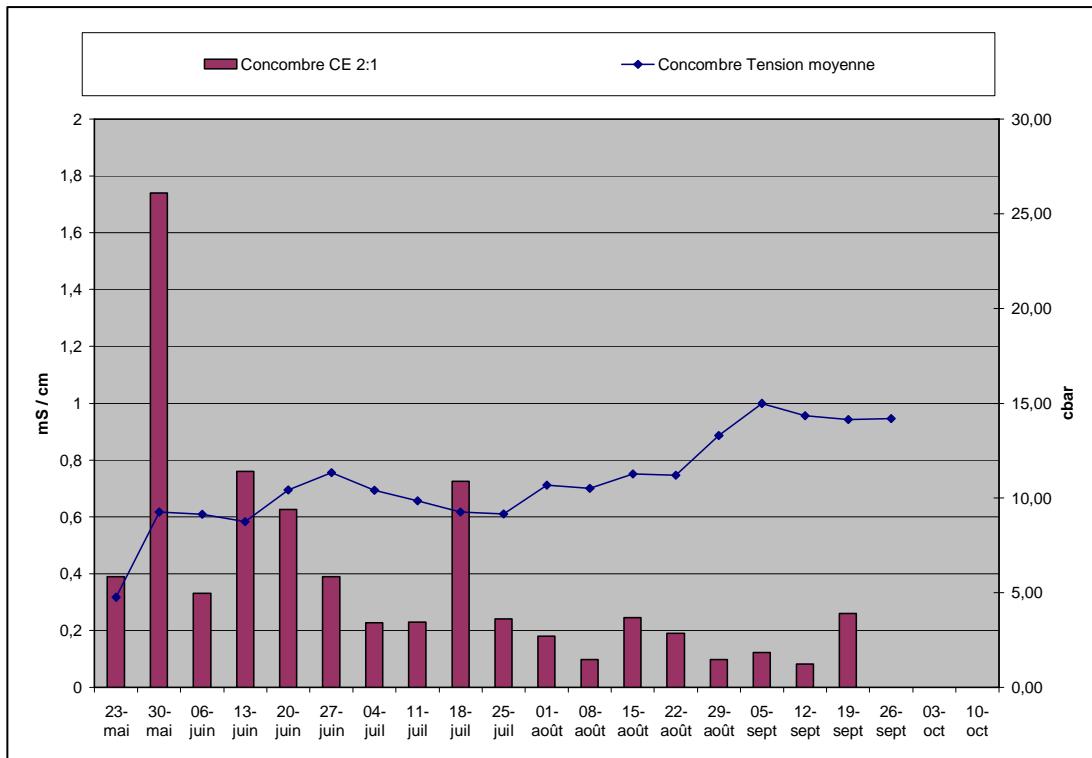
**Figure 33.** Progression des températures de l'air (minimum et maximum) et de sol, ainsi que la CE-maison de la saison 2011 pour la tomate.



**Figure 34.** Progression de la tension du sol et de la CE-maison pour la tomate.



**Figure 35.** Progression des températures de l'air (minimum et maximum) et de sol, ainsi que la CE-maison de la saison 2011 pour le concombre.



**Figure 36.** Progression de la tension du sol et de la CE-maison pour le concombre.

## 5.4 La ferme D

### 5.4.1 Évaluation des besoins en nutriments et des apports en fertilisants de base et d'appoint.

Les besoins en éléments nutritifs (N, P, K, Ca et Mg) ont été évalués selon les objectifs de rendement fixés par l'entreprise, soit : 7 kg/m<sup>2</sup> pour la tomate et 10 kg/m<sup>2</sup> pour le concombre. Les besoins en éléments nutritifs correspondants sont présentés respectivement dans les figures 37 et 40.

Le tableau 10 donne les dates des fumures de base et d'appoint qui ont été effectuées pour les cultures de tomates et de concombres. Au début du mois de mai, un épandage de compost de poules pondeuses a été réalisé. Un autre compost (Sol-Mer) a été utilisé pour faire des apports complémentaires aux dates suivantes : 16 mai et 26 juillet dans la tomate; 8 juin et 26 juillet dans le concombre. La valeur fertilisante de ces deux composts est précisée dans le tableau 11. Les autres engrains organiques qui ont été utilisés sont : émulsion de poisson (5-1-1, Muskie), poudre d'algues (0,5-0,2-17, Distrival Canada), extrait liquide de concentré d'algues (ASCO-SLE, 0-0-6). Étant donné les caractéristiques physiques de ces engrains et de la date de leur application, un taux de libération de 100 % des éléments nutritifs pour la saison de culture 2011 a été considéré. Les figures 37 et 40 présentent aussi l'évaluation des nutriments qui ont été rendus disponibles pour les plantes au cours de la saison de culture par la fertilisation d'appoint.

En résumé, si l'on compare pour chacun des éléments nutritifs étudiés les besoins théoriques versus les apports externes (contribution du sol exclue) qui ont été faits en 2011, on obtient les pourcentages qui sont présentés ci-contre :

	Tomate (objectif 15 kg)	Concombre (objectif 5 kg)	Concombre (objectif 10 kg)
--	----------------------------	------------------------------	-------------------------------

N	22%	31%	16%
P	28%	39%	19%
K	19%	26%	13%
Ca	74%	104%	52%
Mg	29%	41%	20%

Tableau 10. Dates et dosages des apports de compost et d'engrais organiques sur les cultures de tomates et de concombres.

Date	Tomate (kg / 100 m <sup>2</sup> )	Fertilisant	Concombre (kg / 100 m <sup>2</sup> )	Fertilisant
Fertilisation de base				
Début mai	60,0	Compost	60,0	Compost
Fertilisation d'appoint				
16 mai	46,0	Compost Sol-Mer		
21 mai	(L / 100 m <sup>2</sup> ) 0,32	Muskie		
26 mai	(L / 100 m <sup>2</sup> ) 0,32	Muskie + Algues liquide + thé de compost		
8 juin			46,0	Compost Sol-Mer
13 juin			(L / 100 m <sup>2</sup> ) 0,32	Muskie + thé de compost
14 juin	(L / 100 m <sup>2</sup> ) 0,32	Muskie	(L / 100 m <sup>2</sup> ) 2,7**	ASCO-SLE
26 juillet	46,0	Compost Sol-Mer	46,0	Compost Sol-Mer

Tableau 11. Valeur fertilisante des composts « poules pondeuses » et Sol-Mer selon l'analyse du laboratoire.

Compost de poules pondeuses			Compost Sol-Mer		
Élément minéral	Kg/tonne	Taux de libération 1 <sup>re</sup> année	Élément minéral	Kg/tonne	Taux de libération 1 <sup>re</sup> année
N	4,3	50 %	N	7,4	45 %
P	2,3	65 %	P	1,7	65 %
K	4,6	90 %	K	3,3	90 %
Ca	14,8	90 %	Ca	9,1	90 %
Mg	2,1	90 %	Mg	1,1	90 %

#### 5.4.2 Résultats des analyses SSE et standards réalisées par le laboratoire

Les figures 38 et 41 montrent respectivement pour la tomate et le concombre, les résultats des quatre analyses SSE réalisées par le laboratoire. Ces figures donnent aussi les valeurs optimales qui sont utilisées comme valeurs de référence. Selon les valeurs optimales, les quatre analyses effectuées en 2011 dans la tomate montreraient un niveau de disponibilité des cinq éléments nutritifs (N, P, K, Ca et Mg) qui est assez faible en général. Pour le concombre, c'est légèrement mieux, mais la tendance est la même.

Les figures 39 et 42 montrent respectivement pour la tomate et le concombre, les résultats des deux analyses standards (début et fin de culture) qui ont été réalisées par le laboratoire. Pour la tomate et le concombre, on peut noter qu'il y a eu une baisse pour tous les éléments, mais en général cette baisse a plutôt été faible. Pour les deux cultures, l'élément qui a été le plus affecté est le K. L'indice de fertilité global (CEC) des sols est pratiquement resté inchangé, une légère baisse de 1 % pour la tomate et de 3 % pour le concombre a pu être mesurée. Les pourcentages obtenus en comparant les analyses standards de début et de fin sont présentés ci-contre :

	Tomate	Concombre
P	93%	87%
K	38%	38%
Ca	97%	98%
Mg	84%	92%
CEC	99%	97%

Le tableau 12 présente les résultats de l'analyse standard à la fin de la saison de culture pour la tomate et le concombre. On note que plusieurs éléments présentent une cote TR (très riche) ou ER (excessivement riche). L'analyse standard présente la fertilité à long terme d'un sol, et de ce côté, la dernière analyse standard montre des sols riches, et même très riches.

Dans les deux parcelles de sol, les concentrations en Ca sont telles qu'elles pourraient occasionner le blocage d'éléments nutritifs comme le P, le K et le Mg. D'autant plus que la quantité de K est considérée comme étant pauvre (P) dans le sol. Cet aspect sera à surveiller pour le plan de fertilisation des prochaines années, car le K est élément très important pour la qualité des fruits de la tomate et du concombre. L'indice global de fertilité pour les deux parcelles est assez élevé pour que le sol soit considéré comme riche (R) et même très riche. Comme pour les autres producteurs, ce niveau de fertilité élevé ne donne pas nécessairement une forte disponibilité des éléments dans la solution du sol comme le montrent les différentes analyses SSE réalisées en cours de saison. Cependant, la proportion entre les cations K, Ca et Mg des analyses standards reste assez semblable dans les analyses SSE.

Tableau 12. Résultats de l'analyse standard réalisée à la fin de la saison de culture.

	Tomate		Concombre	
	(%)		(%)	
MO	22,4	TR	23,3	TR
	(kg/ha)		(kg/ha)	
P	189	ER	302	R
K	113	MB	180	M
Ca	14 180	ER	14 422	ER
Mg	962	ER	1 048	R
	(méq/100 g)		(méq/100 g)	
CEC	39,9	TR	40,8	R

#### 5.4.3 Mesure de la CE avec la technique 2:1

Les figures 43 et 44 (tomate et concombre respectivement) présentent la progression des mesures de la CE (2 :1), tout au cours de la saison. Pour la tomate et le concombre, l'interprétation de l'influence de la fertilisation d'appoint sur la CE n'est pas évidente pour deux raisons. Premièrement, il y avait plusieurs données manquantes. Deuxièmement, le compost qui a été utilisé pour la fertilisation d'appoint n'a pas une libération des nutriments aussi rapide que certains engrains organiques, ce qui peut diffuser l'effet dans le temps. Pour les autres applications de fertilisants, elles ont été faites sous forme liquide avec des dosages en nutriments qui étaient faibles. Une faible quantité de nutriments ne pouvait pas avoir un effet très marqué sur la CE de la solution du sol. Dans le cas de la deuxième application de compost dans la tomate (semaine du 25 juillet), la CE mesurée au labo (semaine du 1<sup>er</sup> août) et la CE-maison mesurée la semaine du 8 août montre des niveaux qui sont nettement supérieurs aux autres mesures de la saison laissant supposer que le compost aurait affecté le contenu en nutriments du sol. Dans le concombre, pour les deux applications de

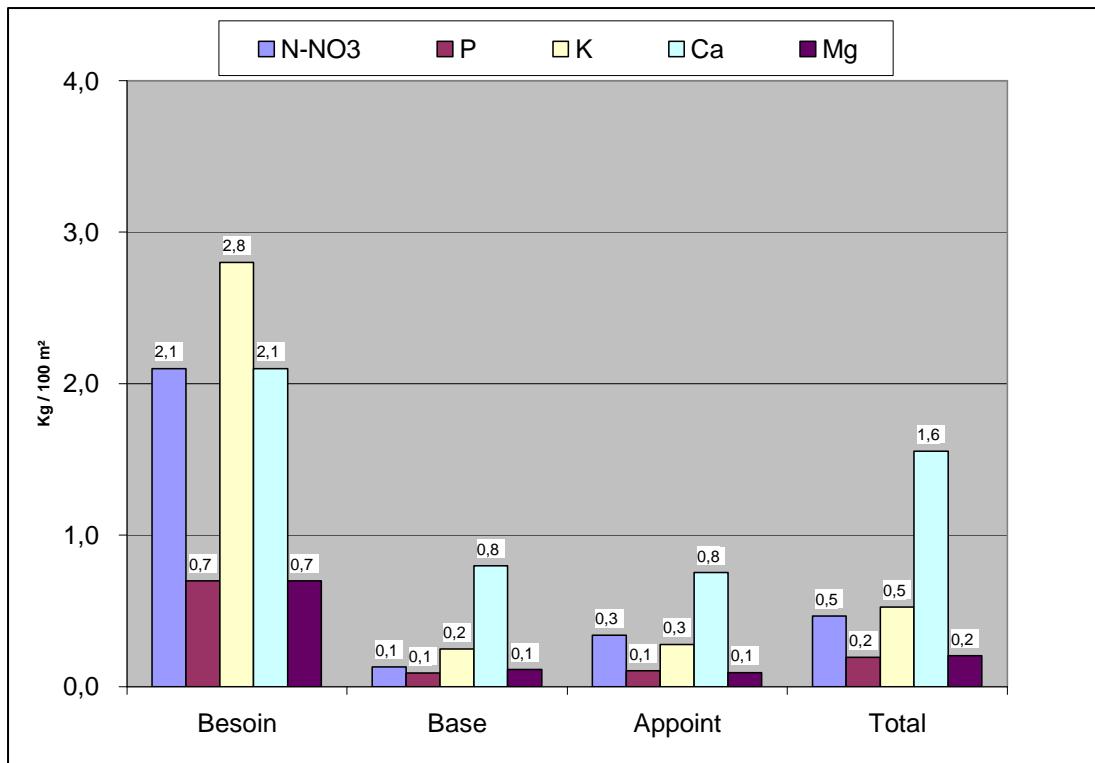
compost, ce n'est pas aussi marqué que pour la tomate, mais on peut remarquer une certaine tendance similaire.

Dans l'ensemble pour la tomate, si l'on exclut la valeur du laboratoire de la semaine du 1<sup>er</sup> août, on n'observe que la CE est plus faible que la CE acceptable entre 1,5 et 3,0 mS/cm. Pour le concombre, la CE est globalement un peu meilleur sans toutefois rencontrer la norme. Malgré ce fait, aucune carence minérale ou autre signe externe n'a pu être observé sur les cultures lors des deux visites effectuées les 7-8 juillet et les 2-3 août 2011.

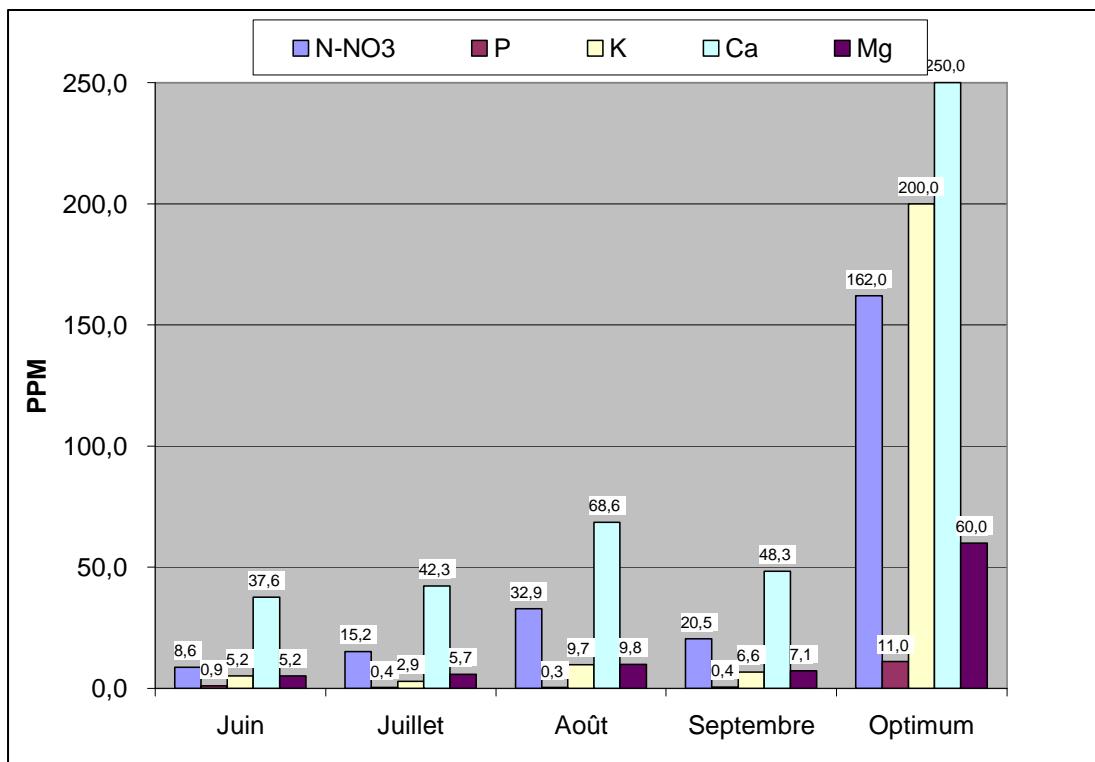
#### 5.4.4 Productivité des cultures et suivi des conditions climatiques

Pour la tomate, l'objectif de production était de 7 kg/m<sup>2</sup> et il a été obtenu 3,7 kg/m<sup>2</sup>. Pour le concombre, l'objectif était de 40 fruits/m<sup>2</sup> et le résultat a été de 8,8 fruits/m<sup>2</sup>. Le faible rendement du concombre s'explique par une très forte infestation de chrysomèle rayée. Les figures 45 et 47 (tomate et concombre respectivement) donnent un aperçu des conditions climatiques qui ont caractérisé la saison 2011 : température de l'air minimum, température de l'air maximum et température moyenne du sol. Ces valeurs ont été présentées en parallèle avec les mesures de la CE-maison, afin de voir s'il pouvait y avoir une interaction. Dans la période couverte par les mesures, les conditions climatiques ne semblent pas avoir eu d'influence sur la CE du sol. Encore chez ce quatrième producteur, la température de sol a suivi la même tendance que la température minimale.

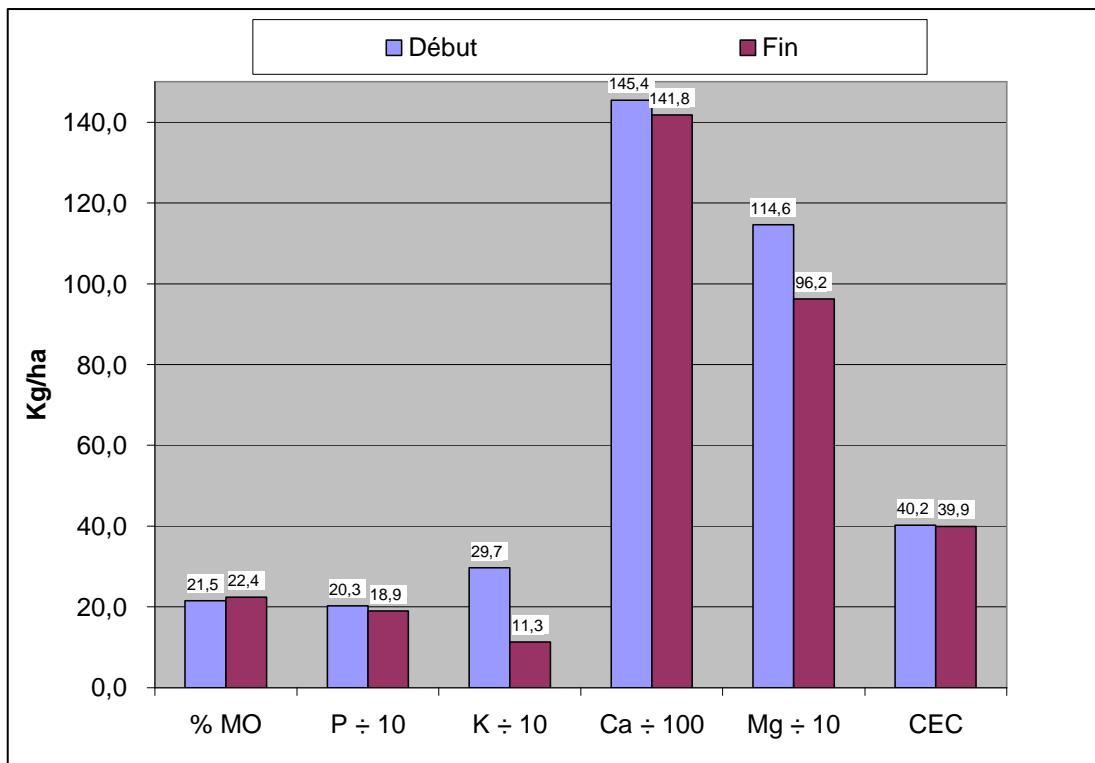
Les figures 46 et 48 (tomate et concombre respectivement) donnent la progression de la tension du sol avec la CE-maison. Selon les résultats obtenus, il ne semble pas y avoir de lien entre ces deux facteurs.



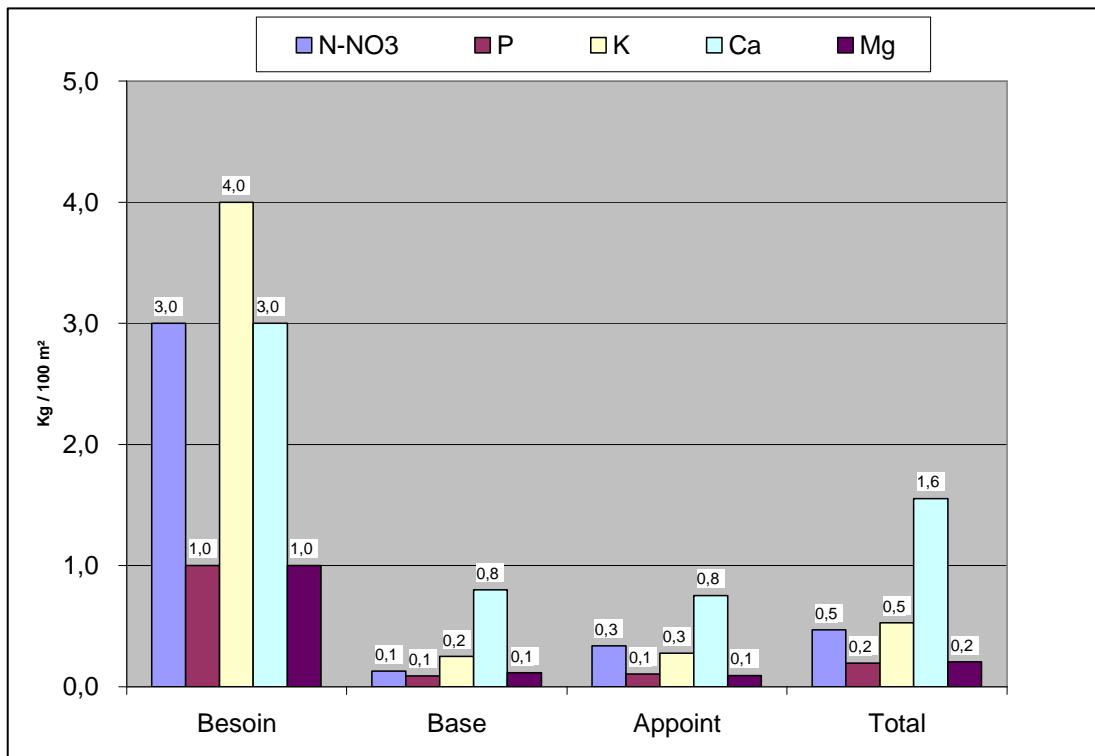
**Figure 37.** Évaluation des besoins en nutriments et des apports en fertilisants de base et d'appoint pour la tomate.



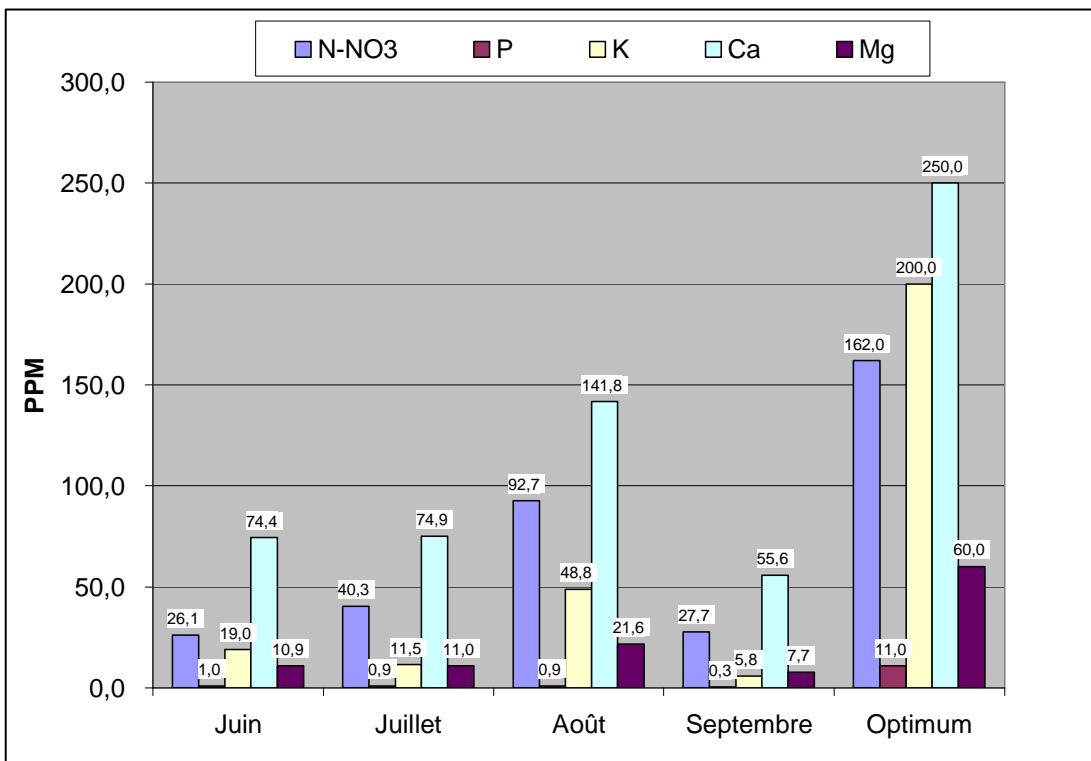
**Figure 38.** Résultats des quatre analyses SSE réalisées par le laboratoire ainsi que les valeurs de références (*Optimum*) pour la tomate.



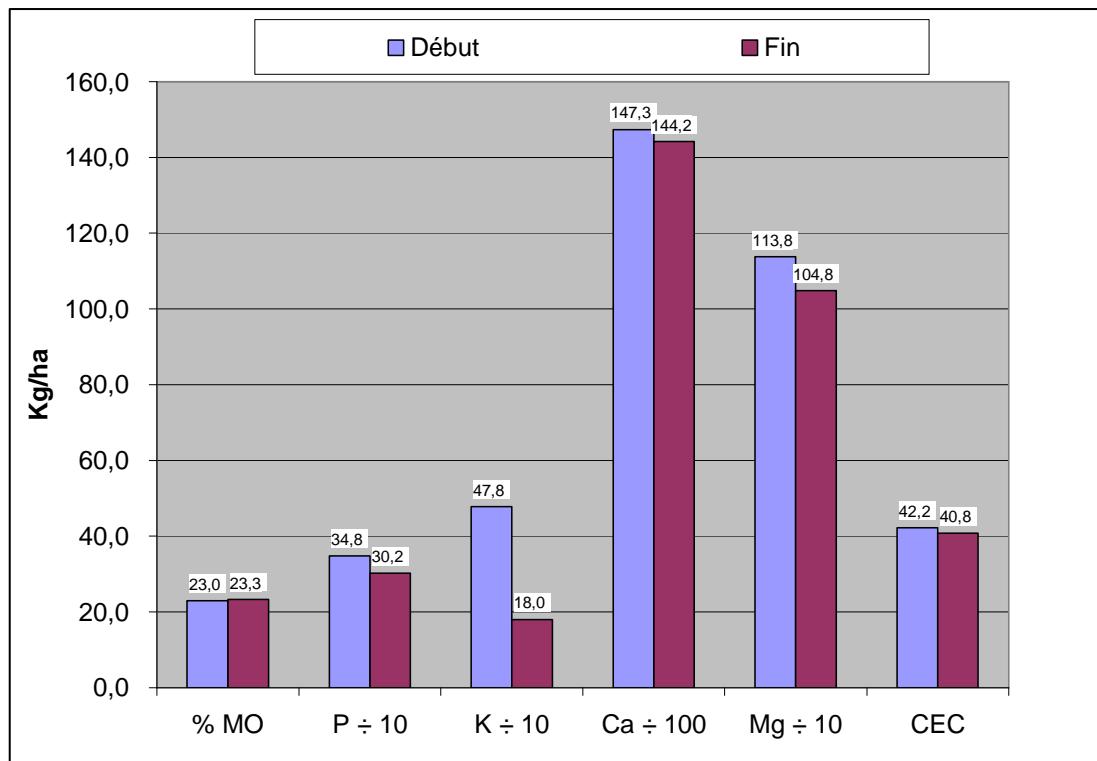
**Figure 39.** Résultats des deux analyses (début et fin de culture) standards qui ont été réalisées par le laboratoire pour la tomate.



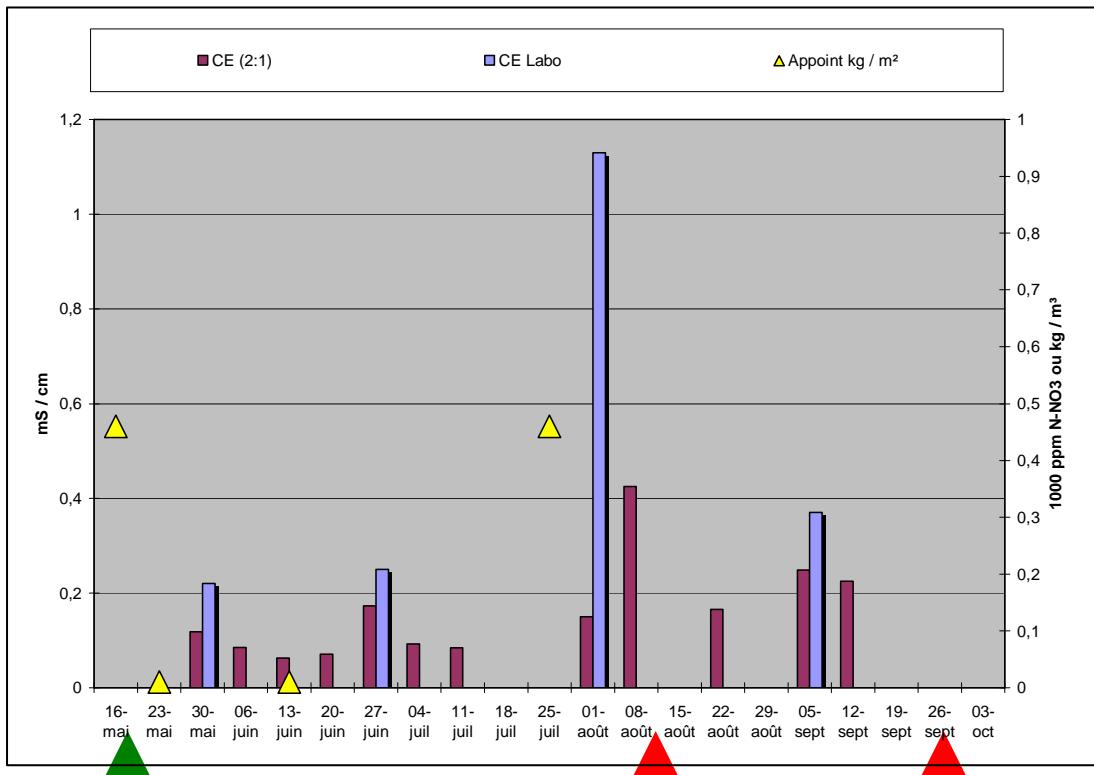
**Figure 40.** Évaluation des besoins en nutriments et des apports en fertilisants de base et d'appoint pour le concombre.



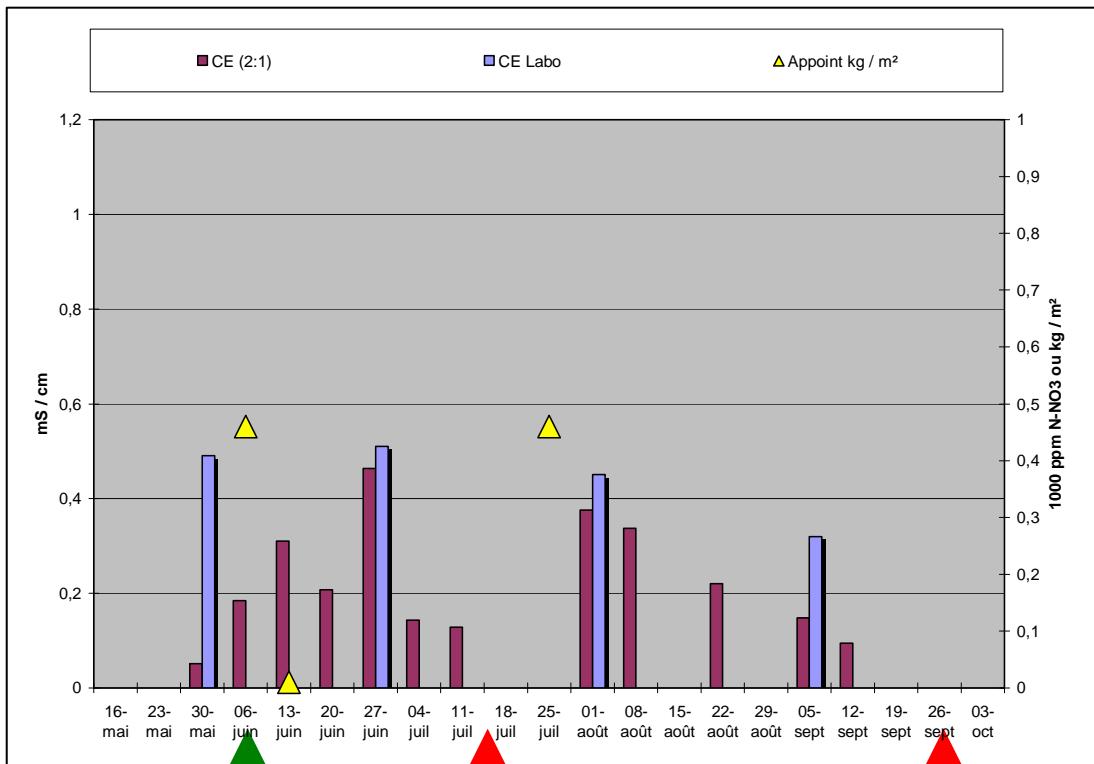
**Figure 41.** Résultats des quatre analyses SSE réalisées par le laboratoire ainsi que les valeurs de références (*Optimum*) pour le concombre.



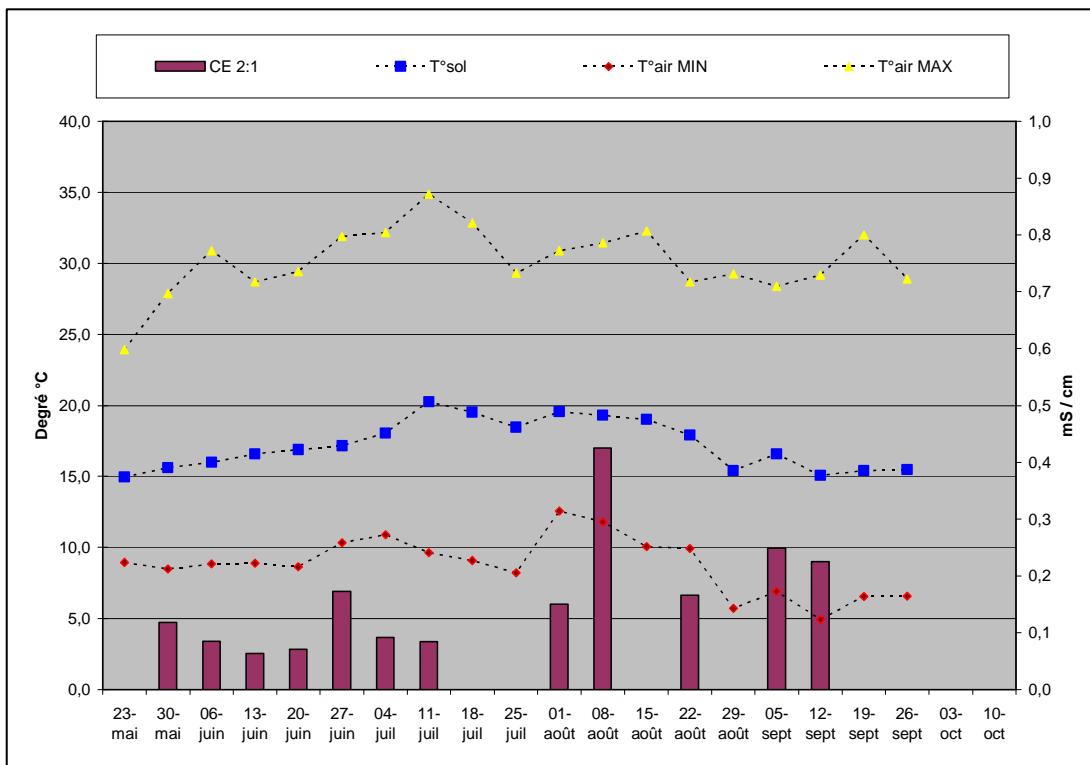
**Figure 42.** Résultats des deux analyses (début et fin de culture) standards qui ont été réalisées par le laboratoire pour le concombre.



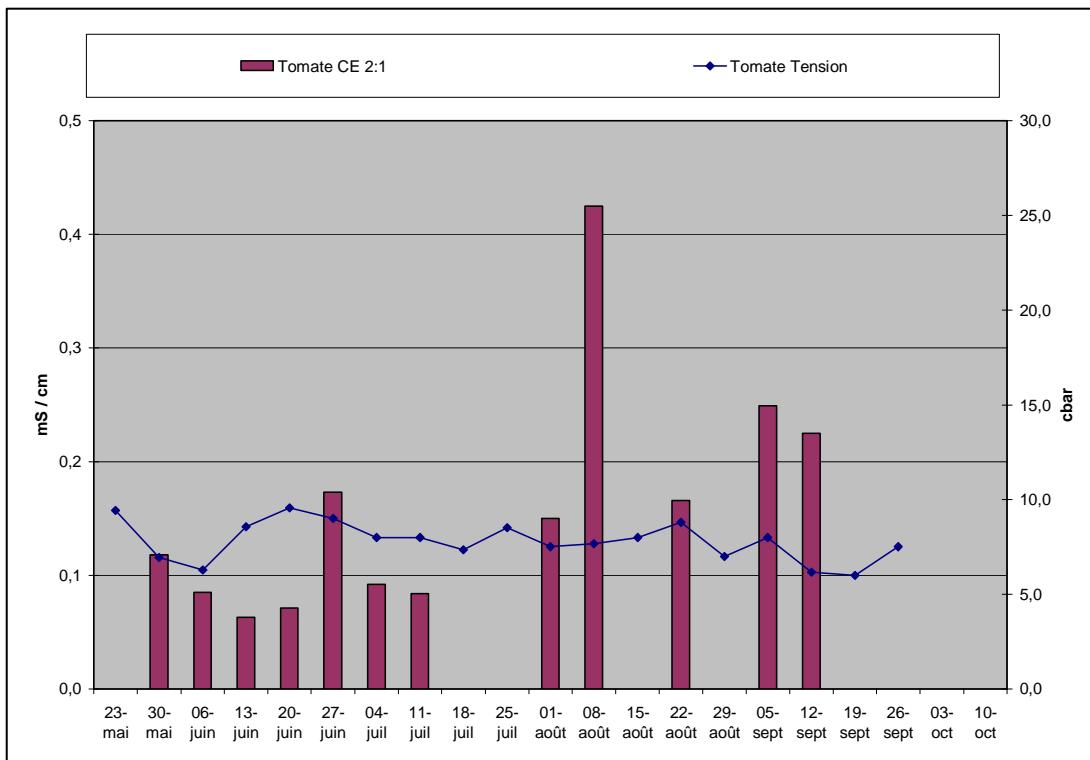
**Figure 43.** Progression de la CE-maison (2:1) tout au cours de la saison de production pour la tomate. Plantation (▲) : 20 mai. Récolte (▲) : 9 août – 26 septembre. Applications des engrais organiques (▲) : 16, 21 et 26 mai, 14 juin et 26 juillet.



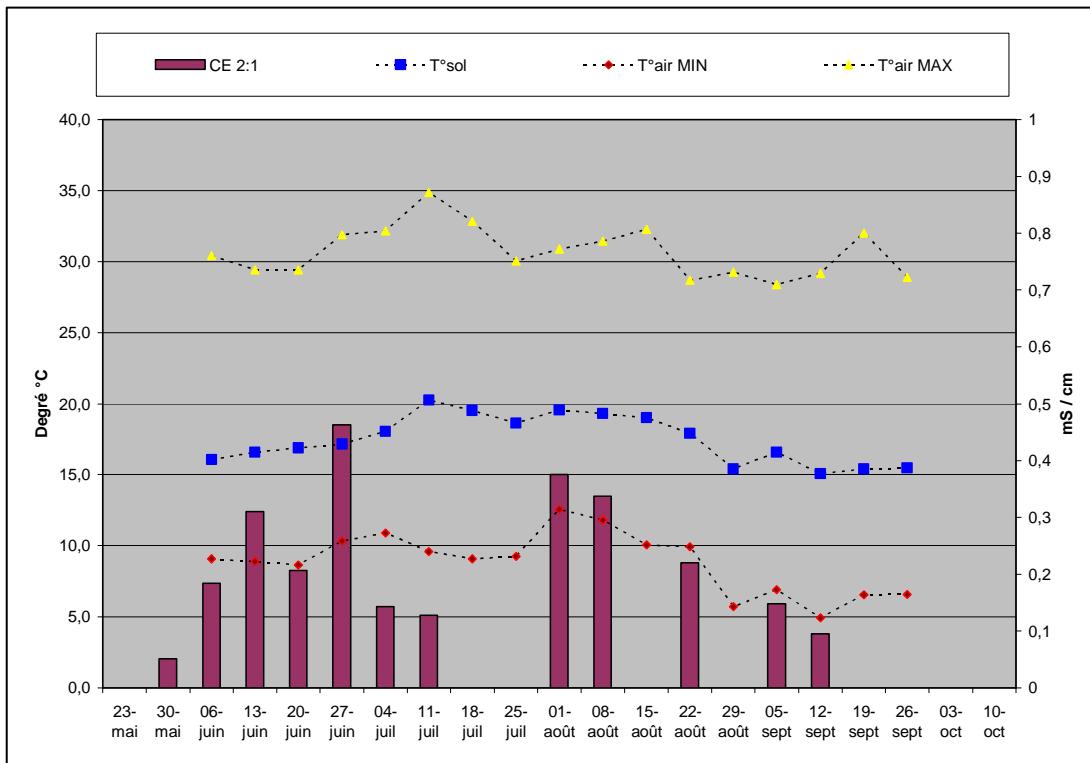
**Figure 44.** Progression de la CE-maison (2:1) tout au cours de la saison de production pour le concombre. Plantation (▲) : 8 juin. Récolte (▲) : 15 juillet - 26 septembre. Applications des engrais organiques (▲) : 8 et 13 juin, et 26 juillet.



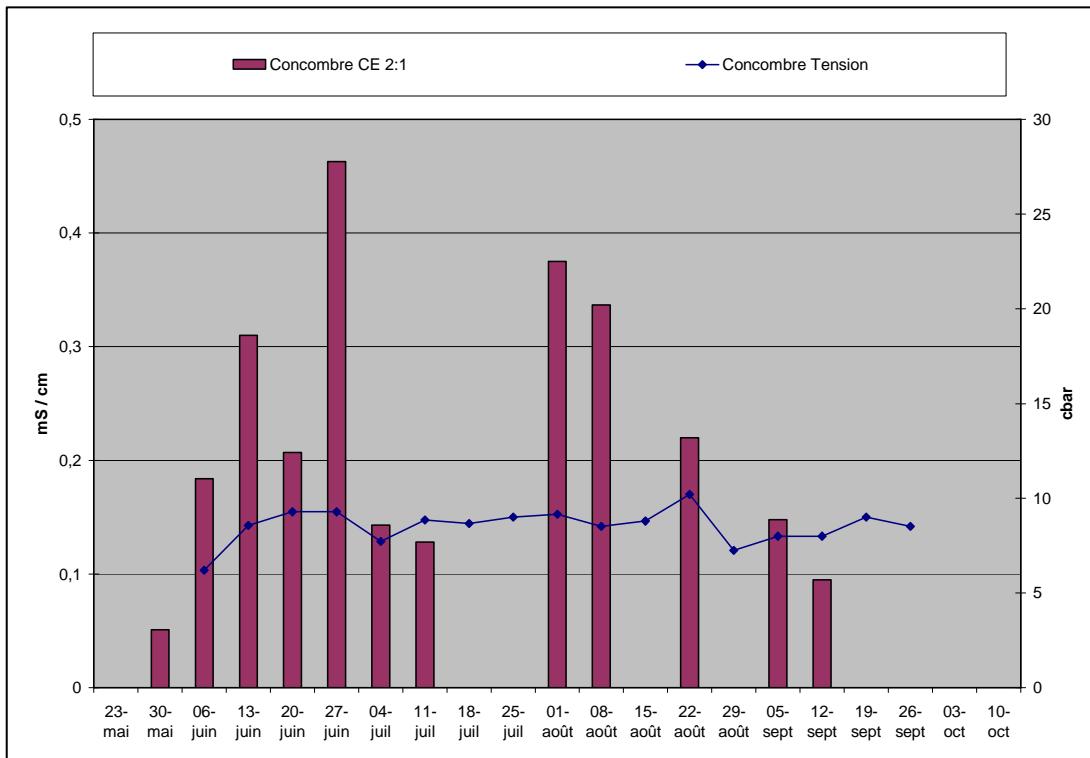
**Figure 45.** Progression des températures de l'air (minimum et maximum) et de sol, ainsi que la CE-maison de la saison 2011 pour la tomate.



**Figure 46.** Progression de la tension du sol et de la CE-maison pour la tomate.



**Figure 47.** Progression des températures de l'air (minimum et maximum) et de sol, ainsi que la CE-maison de la saison 2011 pour le concombre.



**Figure 48.** Progression de la tension du sol et de la CE-maison pour le concombre.

## 6. L'analyse des résultats

L'analyse des résultats qui suit a été faite selon les objectifs du projet. Les objectifs de ce projet étaient :

1. Valider l'équation de corrélation obtenue dans le projet réalisé en 2010 liant les mesures de CE faite à la ferme (technique 2 :1) et la CE mesurée en laboratoire (technique SSE).
2. Poursuivre le développement d'une technique simple pour faire le suivi de la fertilité des sols;
3. Optimiser l'effet de la fertilisation biologique pour obtenir de meilleurs rendements tout en évitant les excès.

### 6.1 Valider l'équation de corrélation obtenue en 2010

En 2010, afin de voir si la mesure de la CE à la ferme avec la technique de saturation 2:1 pouvait être représentative de la CE mesurée par le laboratoire, une analyse de régression simple a été effectuée sur les données recueillies pendant le projet. La mesure de la CE-maison avait été comparée avec la mesure du laboratoire pour le même échantillon de sol dans les quatre entreprises participantes. Le résultat de cette analyse est présenté à la figure 49.

La figure 50 montre le résultat pour l'analyse des données obtenues en 2011. On observe le même type de relation qu'en 2010, mais avec une équation un peu différente. En 2011, nous avions pratiquement trois fois plus de données pour faire l'analyse. On doit mentionner que pour une des fermes participantes (ferme D) deux données ont été enlevées de l'analyse parce que la probabilité qu'une erreur ait pu se glisser dans ses échantillons était très forte. Au mois de mai, dans le concombre, la valeur du laboratoire était plus de 700 % fois plus élevée que la mesure réalisée au terrain. De même, au mois d'août pour la tomate, la valeur du laboratoire était plus de 900 % fois plus élevée que la mesure réalisée au terrain.

La figure 51 montre l'analyse pour les données des deux années groupées. Dans ce type d'analyse, plus le nombre de données est élevé et plus l'équation obtenue devrait être précise. Cependant, on observe que le facteur de corrélation linéaire obtenu entre les deux facteurs ne s'est pas amélioré. Pour cette dernière analyse, il est de 0,81, ce qui est toujours très acceptable pour un outil de suivi de la fertilisation qui ne demande pas une précision de laboratoire, mais plutôt une approximation valable pour une utilisation « terrain ». Idéalement, il faudrait encore augmenter la banque de données en nombre et en temps (troisième année) pour confirmer de manière plus définitive cette équation.

En résumé, les équations mathématiques reliant les deux mesures de CE qui ont été obtenues sont :

1. Équation 2010 :  $y = 1,86x + 0,43$ ; Facteur de corrélation linéaire,  $R^2=0,92$
2. Équation 2011 :  $y = 1,42x + 0,18$ ;  $R^2=0,86$
3. Équation 2010-11 :  $y = 1,70x + 0,22$ ;  $R^2=0,81$

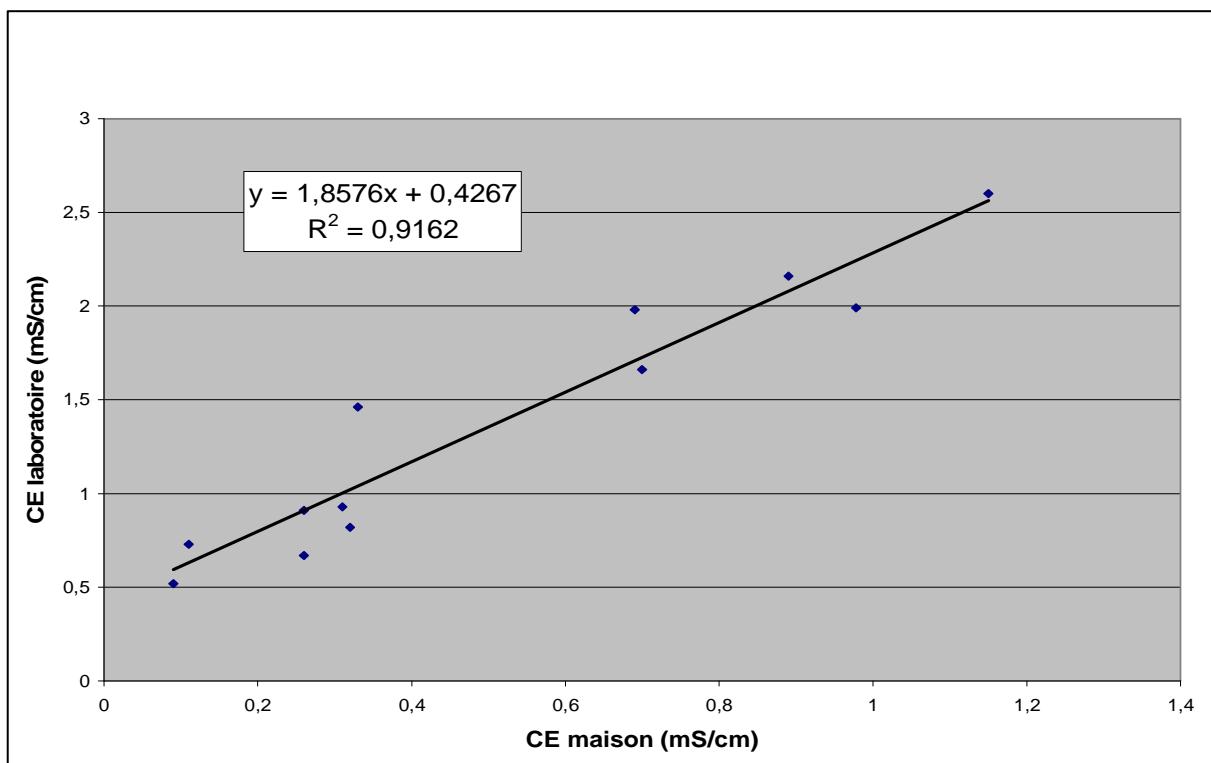
- **x** est la mesure de la CE-maison;
- **y** est la valeur de la CE que le laboratoire obtiendrait.

Si par exemple on avait une CE-maison de 0,5 mS/cm, les trois équations donneraient les valeurs suivantes :

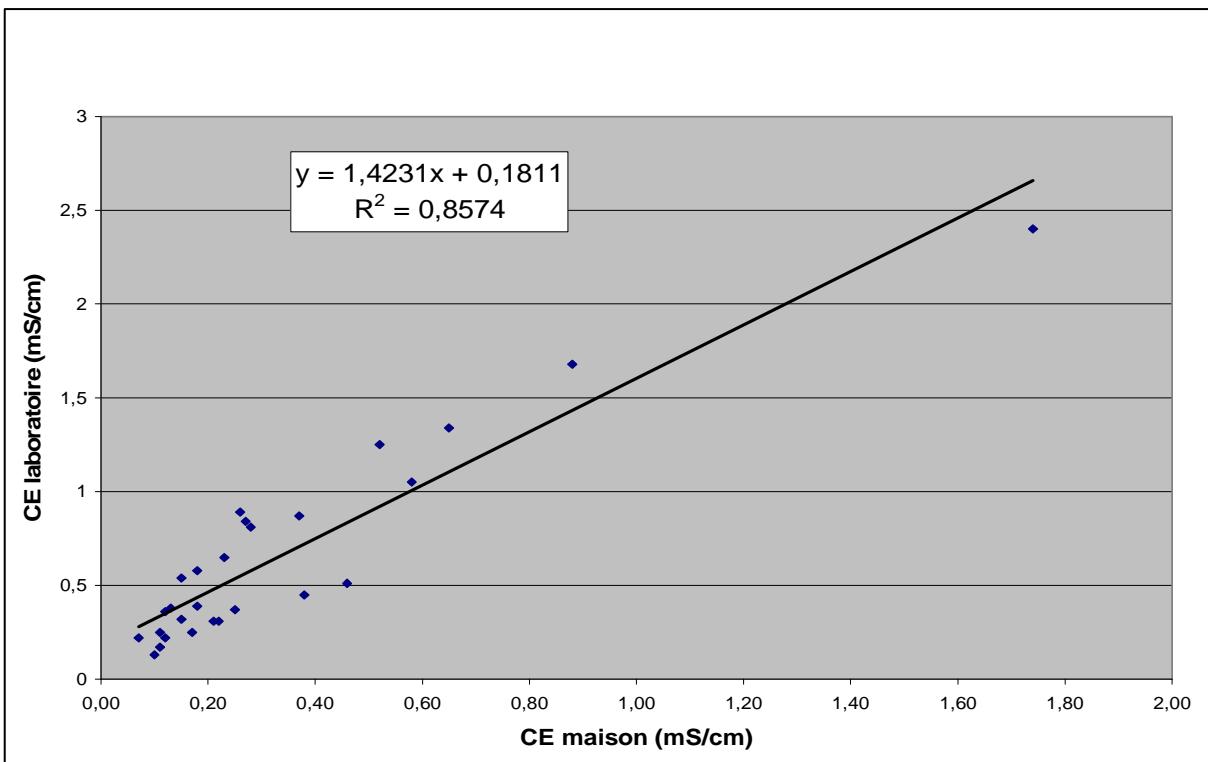
- Équation 2010 : CE-labo de 1,4 mS/cm;
- Équation 2011 : CE-labo de 0,9 mS/cm;
- Équation 2010-11 : CE-labo de 1,1 mS/cm.

Finalement, ces trois équations montrent que la CE-maison reflète bien la CE qui serait mesurée par un laboratoire, laquelle représente la concentration des nutriments qui se retrouvent dans la solution du sol. Cette mesure demeure

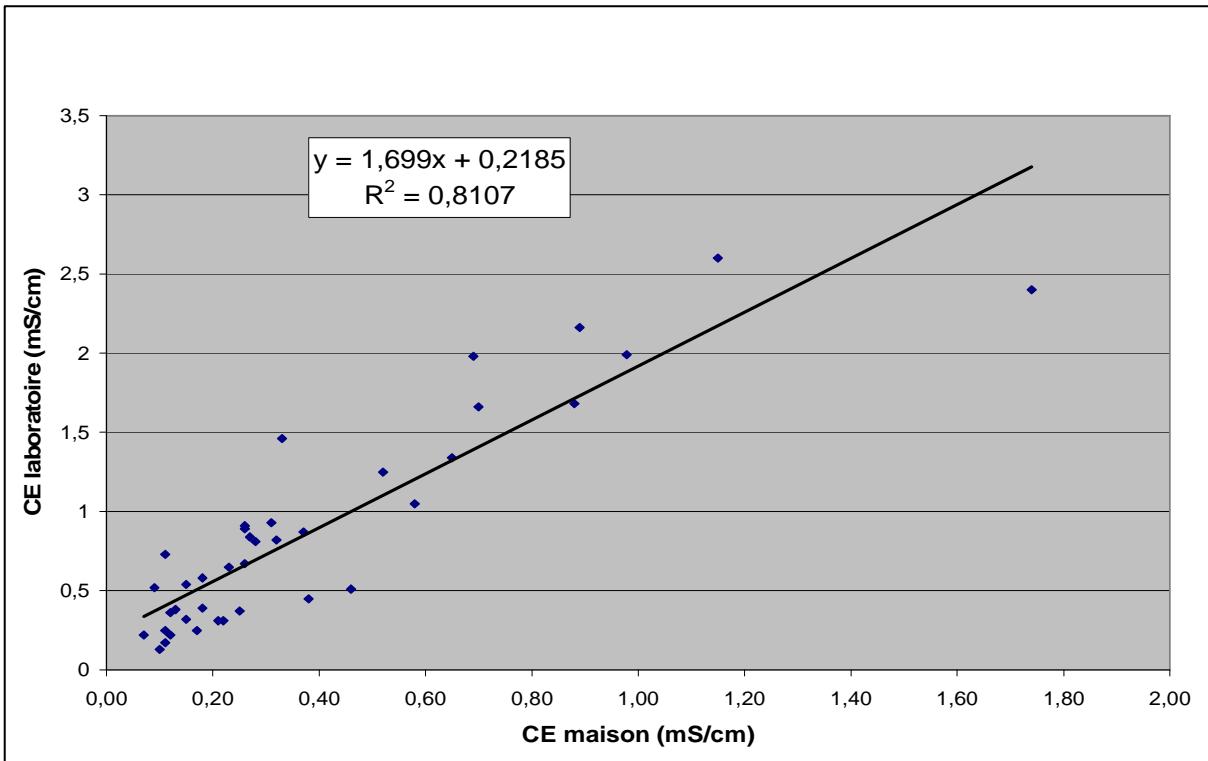
donc intéressante pour les producteurs, car elle reflète bien ce qui est globalement disponible pour les plantes comme nutriments dans la solution du sol. La CE-maison permet de suivre l'évolution de la quantité globale des nutriments qui sont disponibles dans la solution du sol tout au cours d'une saison de production. Le suivi de l'évolution de la fertilité du sol pendant la saison, couplé avec l'observation des plantes, permet de déterminer le bon moment pour faire une fertilisation d'appoint.



**Figure 49. Projet 2010.** Analyse de régression appliquée sur la CE mesurée à la ferme (technique 2:1) par rapport à la valeur obtenue au laboratoire avec le même échantillon de sol.



**Figure 50. Projet 2011.** Analyse de régression appliquée sur la CE mesurée à la ferme (technique 2:1) par rapport à la valeur obtenue au laboratoire avec le même échantillon de sol.



**Figure 51. Projet 2010-2011.** Analyse de régression appliquée sur la CE mesurée à la ferme (technique 2:1) par rapport à la valeur obtenue au laboratoire avec le même échantillon de sol.

## 6.2 Développer une technique simple pour faire le suivi de la fertilité des sols

Pour faire le suivi de la fertilité, la CE-maison prise sur une base régulière est un bon outil pour les producteurs. Cependant, il faut se baser sur le bon seuil de référence pour prendre une bonne décision quant à l'interprétation de la fertilité d'un sol. Au début de la première phase, projet de recherche qui a été réalisé en 2010, l'intervalle de référence choisi était basé sur des résultats de recherche de la Hollande pour des serres biologiques chauffées douze mois par année et sur certaines fermes québécoises qui elles aussi chauffaient pratiquement toute l'année. Notre hypothèse de départ était que pour optimiser la fertilité d'un sol, il fallait maintenir la CE au-dessus de 1,5 mS/cm, avec une plage optimale entre 2,0 et 2,5. Les résultats obtenus dans les deux projets de recherche sur la fertilisation biologique de la tomate et du concombre remettent en question cet intervalle de référence.

Tableau 13. Moyenne des CE-maison qui ont été prises sur toute la saison de production et les écarts-types associés.

Ferme	Tomate		Concombre	
	CE-maison moyenne (mS/cm)	Écart-type	CE-maison moyenne (mS/cm)	Écart-type
<b>A</b>	0,17	0,05	0,16	0,11
<b>B</b>	0,56* 0,21**	0,05 0,03	0,68	0,09
<b>C</b>	0,26	0,17	0,31***	0,21
<b>D</b>	0,16	0,10	0,22	0,12

\* : semaine 23 mai à semaine 20 juin (5 semaines sur 19).

\*\* : semaine 27 juin à semaine 26 septembre (14 semaines sur 19, incluant la période de récolte).

\*\*\* : valeur de la semaine du 30 mai a été enlevée; forte présomption de donnée aberrante.

Le tableau 13 présente la CE-maison moyenne qui a été mesurée sur toute la saison de production et l'écart-type qui y est associé, pour chacune des fermes. On constate que la CE-maison moyenne pour tous les sites de production oscille entre 0,16 et 0,68 mS/cm, ce qui correspond à 0,5 et 1,4 mS/cm au laboratoire (équation No 3). Ce niveau de CE qui semblerait faible selon notre premier intervalle de référence n'a cependant pas empêché certaines entreprises d'atteindre leurs objectifs de rendements.

Dans la tomate aucune entreprise n'a atteint son objectif de rendement. Il faut préciser qu'à l'été 2011 le climat a été favorable à la moisissure grise et que toutes les fermes participantes ont été touchées à divers niveaux par cette maladie. De plus, la moisissure olive a aussi sévi dans trois fermes. Dans le concombre, deux fermes ont dépassé l'objectif de départ, soit les fermes A (section 5.1.4) et C (section 5.3.4). Pour cette même culture, le rendement a été affecté à différents degrés dans les fermes où la chrysomèle rayée était présente. Dans un projet de recherche où l'on travaille sur la fertilité des sols et la productivité des cultures, les ravageurs et les insectes viennent compliquer l'interprétation des résultats.

Tableau 14. Meilleurs rendements obtenus dans la tomate et le concombre ramenés sur une base comparative de quantité récoltée par semaine (kg/m<sup>2</sup>/sem.) pendant toute la période de récolte.

<b>Ferme</b>	<b>Tomate</b>		<b>Concombre</b>	
	<b>Kg/m<sup>2</sup>/sem.</b>	<b>Nb de jours de récolte</b>	<b>Kg/m<sup>2</sup>/sem.</b>	<b>Nb de jours de récolte</b>
<b>A</b>	1,79*	48	1,25	81
<b>B</b>	1,67	49		
<b>C</b>	1,53	56	1,00	71

\* : Rendement total incluant les rejets.

Le tableau 14 présente les meilleurs rendements pour la tomate et le concombre ramenés sur une base comparative de quantité qui est récoltée par semaine

(kg/m<sup>2</sup>/sem.) pendant toute la période de récolte. Pour la tomate, ces rendements ont été obtenus avec des CE entre 0,5 et 0,7 mS/cm (valeur corrigée par l'équation No 3). Pour le concombre, les meilleurs rendements ont été obtenus avec des CE entre 0,5 et 0,8 mS/cm (valeur corrigée par l'équation No 3). La zone de référence pour la bonne fertilité du sol semblerait donc être beaucoup plus située entre 0,5 à 1,5 mS/cm pour le contexte de production des quatre fermes participantes à l'étude.

De plus, un autre élément devrait être considéré, c'est celui de la stabilité ou de la constance de la CE de la solution du sol. Dans le tableau 13, ce facteur est reflété par l'écart-type, plus ce dernier est petit et plus la CE est stable dans le temps. La stabilité de la CE montrerait que le sol par son activité biologique fournirait autant d'éléments nutritifs que ce qui est importé par les plantes pour leur croissance et leur production.

Deuxièmement, les analyses de sols sont de bons outils pour suivre la fertilité. Ces deux années de recherche nous ont appris que les résultats d'analyses donnent des informations qui sont incomplètes si elles ne sont pas replacées dans un contexte plus global où les observations terrains devraient occuper une large part de l'interprétation finale. Faire une seule analyse de sol par année, ça donne très peu d'information et on pourrait même dire qu'une seule analyse, c'est pratiquement inutile pour construire un plan de fertilisation... Il faut avoir une vision basée sur le long terme pour bien connaître le « comportement » de son sol et c'est à partir de plusieurs années d'analyses et d'observations qu'on y parvient.

L'analyse standard est un élément nécessaire pour monter un plan de fertilisation, mais ce n'est pas la source d'information centrale. Deux années de prises de données agronomiques et d'envois d'échantillons de sols au laboratoire ont permis de valider le fait que le niveau de fertilité d'un sol vu sous l'angle de sa capacité à rendre disponible les nutriments pour les plantes n'est pas directement proportionnel à la richesse d'une analyse standard. C'est plutôt

l'activité biologique du sol qui est le facteur clé de la fertilité, car c'est cette activité qui conditionne la mise en disponibilité des nutriments pour les plantes. Un sol riche pourrait ne pas fournir suffisamment de nutriments à des plantes productives. Par exemple, un sol riche qui aurait une structure déficiente où l'activité biologique serait faible, ou encore un sol qui serait trop froid ou trop humide. Toutes les conditions adverses qui limitent l'activité biologique limitent aussi la fertilité. Malgré tout, on peut tirer d'une analyse standard certaines informations utiles pour un plan de fertilité. Dans les deux projets, on a observé que la proportion entre les éléments K, Ca et Mg qui rapportée dans une analyse standard reste très semblable dans les analyses SSE du laboratoire. Par exemple, si le K est faible par rapport au Ca et au Mg dans une analyse standard, ça va aussi se refléter dans les analyses SSE qui seront prises pendant la saison de production, si l'on exclut bien entendu l'effet des apports de compost et de fertilisants organiques. Autrement dit, l'activité de la microfaune du sol ne corrige pas les défauts de base d'un sol et ce serait plutôt le rôle des apports externes.

L'analyse de sol par la technique SSE est aussi un bon outil pour vérifier quels sont les nutriments qui sont disponibles dans la solution du sol à un moment précis de la saison. Ce type d'analyse est un très bon complément de la CE-maison. Globalement, la CE-maison et l'analyse SSE constituent de bonnes méthodes pour suivre la progression des nutriments dans la solution du sol. Ces analyses couplées aux observations des producteurs permettent de mieux comprendre la relation entre les valeurs d'une analyse standard versus la disponibilité des nutriments pour les plantes.

En ce qui concerne les mesures du contenu en nitrate des feuilles, il est difficile de faire l'analyse des résultats. Le nombre de données est tout même très limité. De manière assez générale, ces mesures semblent corroborer qu'une hausse de la CE dans la solution du sol donnerait un accroissement du contenu en nitrate des feuilles, mais ça reste une observation et non pas une démonstration scientifique. Il a aussi été observé que les niveaux de nitrate

mesurés dans les feuilles de tomates et de concombres étaient loin des niveaux recommandés en culture conventionnelle. Pourtant, aucune carence en azote n'a été observée sur les plantes. Dans le cadre de ce projet, il n'a pas été possible de recueillir les éléments nécessaires pour expliquer ce phénomène. Est-ce que la mesure du contenu en nitrate est un bon outil ? On doit mentionner que cette technique demande passablement de temps pour prendre les mesures, donc ce n'est pas un outil que l'on pourrait qualifier de simple. Dans la pratique courante, ce n'est pas quelque chose qui pourrait être fait chaque semaine, mais ça reste intéressant pour les projets de recherche. Pour mieux comprendre les résultats que l'on a obtenus en 2011, il faudrait poursuivre les travaux de manière plus spécifique dans le futur.

### **6.3 Optimiser l'effet de la fertilisation biologique pour obtenir de meilleurs rendements tout en évitant les excès**

Dans une des fermes participantes (ferme A) on a noté une augmentation assez importante de la réserve organique et minérale du sol. L'effet a été le plus marqué sur le P, ce qui est normal puisque cet élément est peu mobile dans le sol. Un élément peu mobile a tendance à s'accumuler facilement dans le sol. Le comportement particulier du P en fait un bon indicateur d'un risque potentiel de surfertilisation. Dans le cas où les analyses de sol montrent un sol avec un taux en matière organique élevé avec une très bonne réserve minérale, il est nécessaire de réduire le dosage de l'épandage de base en compost qui se fait normalement en début de saison. Par la suite, le suivi de la CE-maison aidera le producteur à déterminer (anticiper) le bon moment pour appliquer une fertilisation d'appoint. Une analyse SSE et l'évaluation visuelle de l'état nutritionnel des plantes vont permettre le bon dosage des éléments nutritifs à apporter aux plantes.

Ce que les deux projets de recherche réalisés avec des producteurs du Bas-Saint-Laurent (Avenue Bio de l'Est) ont fait ressortir, c'est que l'on doit

beaucoup plus considérer l'effet de la température sur le système de production. Ces producteurs produisent sur une assez courte période de production, soit de la mi-mai jusqu'au début d'octobre. Dans certaines serres, le chauffage est utilisé de manière modérée et dans les tunnels, il n'y a pas de chauffage du tout.

Dans une serre chauffée toute l'année, la croissance des plantes (importation de nutriments) et l'activité biologique du sol (« production » de nutriments) ne sont pratiquement pas limitées par la température. Pour les serres et les tunnels utilisés par les producteurs de ce projet, ce n'est pas nécessairement le cas. Au printemps, l'activité biologique du sol doit partir de pratiquement zéro et se mettre en marche en fonction de la température du sol. Par exemple en début de saison, si la température du sol est trop froide, la disponibilité de l'azote organique pourrait être faible, et ce phénomène pourrait être encore pire pour sol très humide. Pendant la saison de production, les plantes sous abris non chauffés sont exposées à de grands écarts thermiques entre la température de jour et de nuit. Dans ce système de production, la température joue donc un rôle prépondérant sur la croissance des plantes et indirectement sur l'importation des nutriments. Les observations sur deux années montrent que les importations de nutriments par les plantes sont moindres que ce que l'on pensait au départ, et ce, comparativement à notre hypothèse de départ qui était basée sur des serres chauffées à l'année. Donc, pour éviter un éventuel problème de surfertilisation, il faudrait aussi tenir compte de la température ressentie par les plantes et celle du sol (activité biologique).

L'augmentation de la productivité des cultures sous abris passe donc par l'optimisation du taux de croissance des plantes et ce dernier est principalement conditionné par la température. Il existe une très forte corrélation entre le taux de croissance et la température moyenne sur une période de 24 heures. En considérant cet aspect, la gestion climatique des abris devrait porter une attention particulière sur la température. Afin de maximiser la température dans un tunnel ou une serre non chauffée, il faut tenir les panneaux et les volets

d'aération fermés le plus possible. Par contre, cette pratique contribue à hausser de manière importante le taux de l'humidité ambiante et conséquemment, cette hausse pourrait entraîner un problème de maladies fongiques. La gestion du climat des abris est donc une recherche constante de l'équilibre entre la température (optimiser la croissance des plantes) et de l'humidité (prévention des maladies).

Un autre aspect à considérer après avoir optimisé le taux de croissance des plantes, c'est l'intensité de l'activité des microorganismes du sol. La fertilité des sols biologiques est dépendante de cette activité. L'intensité de l'activité biologique dépend principalement des conditions du sol (oxygène, nourriture, etc.), du climat (température et contenu en eau) et des pratiques culturales (drainage, chaulage, fertilisation). Les producteurs devraient porter une attention particulière sur les moyens qui permettraient d'accroître la température du sol (buttes avec paillis plastique, etc.), la diffusion de l'oxygène dans le sol (structure du sol, stratégie d'arrosage, etc.) et le bon pH pour l'activité biologique (fourchette idéale entre 6,5 à 6,8).

Un troisième aspect à regarder afin « d'exploiter » toute la fertilité du sol, c'est la qualité de l'enracinement. Plus les racines sont en santé et qu'elles explorent un grand volume de sol, plus les nutriments peuvent être absorbés par les plantes. La structure du sol et la stratégie d'arrosage sont des facteurs importants à considérer pour obtenir pour la qualité des racines. Le greffage peut aussi être envisagé comme étant un bon moyen pour améliorer la vigueur et le nombre de racines. Certains porte-greffes sont aussi reconnus pour augmenter la résistance au froid de la tomate.

En résumé, pour éviter l'accumulation de nutriments dans le sol, il faut bien suivre l'état des nutriments dans le sol et aussi rechercher un état d'équilibre entre plusieurs facteurs :

- mesurer chaque année la réserve organique et minérale du sol (analyse standard);

- pour les sols riches (matière organique ou réserve minérale), réduire le dosage de l'amendement de base (compost) en début de saison;
- mesurer régulièrement la disponibilité des nutriments dans la solution du sol (CE-maison) et s'en servir pour déterminer le bon moment pour faire une fertilisation d'appoint;
- utiliser les analyses SSE et l'évaluation visuelle de l'état nutritionnel des plantes pour déterminer le bon dosage des fertilisations d'appoints;
- maximiser la vitesse de croissance des plantes (température moyenne sur 24 heures versus la prévention des maladies fongiques);
- optimiser l'importation des éléments minéraux par les plantes (équilibre EAU/SOL/OXYGÈNE);
- optimiser la capacité des racines à absorber les nutriments (structure du sol et greffage);
- maximiser la vitesse de mise en disponibilité des nutriments par les microorganismes (forte activité biologique).

## Conclusion

Ce projet de recherche a permis de préciser la relation qui existe entre la mesure de la CE à la ferme (technique 2:1) et la CE mesurée par le laboratoire. L'équation obtenue est la suivante :

$$1,70 \times \text{CE}_{(2:1)} + 0,22 = \text{CE}_{\text{SSE-LABO}} \quad (R^2=0,81)$$

Avec cet ajustement, la CE-maison reflète bien la CE qui serait mesurée par un laboratoire, laquelle représente la concentration des nutriments qui se retrouvent dans la solution du sol. Cette mesure demeure donc intéressante pour les producteurs, car elle représente bien ce qui est globalement disponible pour les plantes comme nutriments dans la solution du sol.

Les résultats obtenus dans les deux projets de recherche (2010 et 2011) sur la fertilisation biologique de la tomate et du concombre remettent en question la fourchette idéale de CE pour le suivi de la fertilité. Notre hypothèse de départ était que pour optimiser la fertilité d'un sol, il fallait maintenir la CE au-dessus de 1,5 mS/cm, avec une plage optimale entre 2,0 et 2,5. La zone de référence pour la bonne fertilité du sol semblerait plutôt être située entre 0,5 à 1,5 mS/cm pour le contexte de production des fermes qui ont collaboré à ces travaux de recherche.

Les analyses de sols sont de bons outils pour suivre la fertilité. Cependant, ces deux années de prises de données agronomiques et d'envois d'échantillons de sols au laboratoire ont permis de valider le fait que le niveau de fertilité d'un sol vu sous l'angle de sa capacité à rendre disponible les nutriments pour les plantes n'est pas directement proportionnel à la richesse de l'analyse standard. On a observé que la proportion entre les éléments K, Ca et Mg qui rapportée dans une analyse standard reste très semblable dans les analyses SSE du laboratoire, si l'on exclut bien entendu l'effet des apports de compost et de fertilisants organiques. L'analyse de sol par la technique SSE est aussi un bon

outil pour vérifier en cours de culture quels sont les nutriments qui sont disponibles dans la solution du sol à un moment précis de la saison. Ce type d'analyse est un très bon complément de la CE-maison. Globalement, la CE-maison et l'analyse SSE constituent de bonnes méthodes pour suivre la progression des nutriments dans la solution du sol. Ces analyses couplées aux observations des producteurs permettent de mieux comprendre la relation entre les valeurs d'une analyse standard versus la disponibilité des nutriments pour les plantes.

Dans le cadre de ce projet, il n'a pas été possible de recueillir suffisamment de données sur la mesure du contenu en nitrate des feuilles pour conclure sur son utilité pour le suivi de la fertilité. De manière assez générale, ces mesures semblent corroborer qu'une hausse de la CE dans la solution du sol donnerait un accroissement du contenu en nitrate des feuilles, mais ça reste une observation et non pas une démonstration scientifique. Pour mieux comprendre ces résultats, il faudrait poursuivre les travaux de manière plus spécifique dans le futur.

Comparativement au modèle qui avait été choisi comme référence au départ du projet, soit une serre chauffée toute l'année, dans le contexte de production des producteurs du Bas Saint-Laurent, la température joue un rôle déterminant sur le taux de croissance des plantes et indirectement sur l'importation des nutriments. Les observations sur deux années montrent que les importations de nutriments par les plantes sont moindres que ce que l'on pensait au départ. Donc, pour maximiser la productivité des cultures et éviter la sur fertilisation, il faut tenir compte de la température ressentie par les plantes et de la température du sol (activité biologique).

Finalement, afin de bénéficier au maximum de la fertilité d'un sol et pour éviter l'accumulation de nutriments dans le sol, il faut bien suivre l'état des éléments minéraux dans la solution du sol, mais aussi rechercher un état d'équilibre entre les facteurs suivants :

- mesurer chaque année la réserve organique et minérale du sol (analyse standard);
- pour les sols riches (matière organique ou réserve minérale), réduire le dosage de l'amendement de base (compost) en début de saison;
- mesurer régulièrement la disponibilité des nutriments dans la solution du sol (CE-maison) et s'en servir pour déterminer le bon moment pour faire une fertilisation d'appoint;
- utiliser les analyses SSE et l'évaluation visuelle de l'état nutritionnel des plantes pour déterminer le bon dosage des fertilisations d'appoints;
- maximiser la vitesse de croissance des plantes (température moyenne sur 24 heures versus la prévention des maladies fongiques);
- optimiser l'importation des éléments minéraux par les plantes (équilibre EAU/SOL/OXYGÈNE);
- optimiser la capacité des racines à absorber les nutriments (structure du sol et greffage);
- maximiser la vitesse de mise en disponibilité des nutriments par les microorganismes (forte activité biologique).

Ce projet a été réalisé grâce à une aide financière accordée dans le cadre du Programme Innovbio du ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec.

## Annexe 1

### **Méthodologie de prélèvement des échantillons de sol qui a été appliquée :**

- ✓ Prélever les échantillons de sol à l'aide d'une tarière de 2,5 cm (1 po) de diamètre. Les échantillons de sol peuvent aussi être prélevés à l'aide d'une pelle étroite ou d'une truelle; toutefois, cette méthode est moins fiable que l'utilisation de la tarière.
- ✓ Recueillir les carottes de sol dans un seau propre, bien mélanger le sol avec délicatesse et le déposer dans un contenant ou un sac de plastique bien identifié. Ne jamais laisser un échantillon de sol exposé à des températures très chaudes ni s'assécher.
- ✓ La profondeur de la zone à échantillonner devrait être de 20 cm.
- ✓ La distance entre la zone à échantillonner et le rang de culture de 10 cm.
- ✓ Le nombre de carottes pour un échantillon autour de 10.

### **Méthodologie d'extraction à l'eau 2 : 1 pour la mesure de la CE :**

- ✓ Mesurer 100 ml de l'échantillon de sol (figure 1).
- ✓ Comacter légèrement le sol pour reproduire le degré de compaction du sol à l'origine et compléter à 100 ml.
- ✓ Mesurer 200 ml d'eau distillée et l'ajouter à l'échantillon de sol.
- ✓ Brasser bien l'échantillon et laisser reposer pendant 30 minutes.
- ✓ Brasser de nouveau et laisser reposer pour encore 5 minutes.
- ✓ Plonger (1/3 supérieur) le CE-mètre dans le surnageant pour prendre la lecture.

## MÉTHODE 2-1 : Préparation de la solution d'extraction et lecture



Figure 1. Photographies montrant les étapes importantes de la technique 2:1.  
Source : Serge Gagnon, agr, Plant-Prod Québec.

## Annexe 2

### UTILISATION DU LECTEUR DE NITRATE (NITRACHEK) ET DES BANDELETTES

#### Prendre une mesure

1. OUVRIR la porte de l'appareil.
2. Lorsque l'écran indique **CAL** → INSÉRER une bandelette.
3. FERMER délicatement la porte.
4. ATTENDRE que l'écran indique **GO**.
5. Lorsque vous êtes prêt à prendre la mesure → SORTIR la bandelette.
6. Au **1<sup>er</sup> BEEP** de l'appareil → TREMPER la bandelette dans la solution.
7. Au **3<sup>e</sup> BEEP** de l'appareil (temps de 2 secondes) → SORTIR la bandelette de la solution. L'appareil va commencer un décompte de **60 secondes**.
8. SECOUER la bandelette 3-4 secondes pour enlever l'excès de solution.
9. DÉPOSER la bandelette sur l'appareil et attendre. Le temps de 60 secondes permet aux nitrates de réagir avec la bandelette.
10. À 10 secondes avant la fin, PRENDRE la bandelette et PLACER la tranche sur un papier absorbant pendant **1 seconde** pour enlever l'excès de solution.
11. 3 secondes avant la fin, l'appareil va donner un signal **BEEP** → PRÉPAREZ-VOUS à INSÉRER la bandelette.
12. 1 seconde avant la fin → INSÉRER la bandelette dans l'appareil.

- 13.** FERMER délicatement la porte.
- 14.** NOTER la lecture indiquée à l'écran.
- 15.** PRENDRE 3 lectures pour chaque échantillon.

### **Calibration avant de prendre les mesures**

- 1.** Avant de procéder à l'analyse des solutions, calibrer l'appareil et les bandelettes à l'aide la solution de nitrate 10 ppm.
- 2.** Pour ce faire, mettre un peu de solution de nitrate 10 ppm dans un contenant de plastique et prendre les lectures selon la procédure expliquée précédemment, avec 3 bandelettes.
- 3.** Calculer la moyenne des 3 lectures ainsi obtenues. Cette valeur sera utilisée dans le calcul de la teneur des échantillons en nitrates.

### **Échantillonnage**

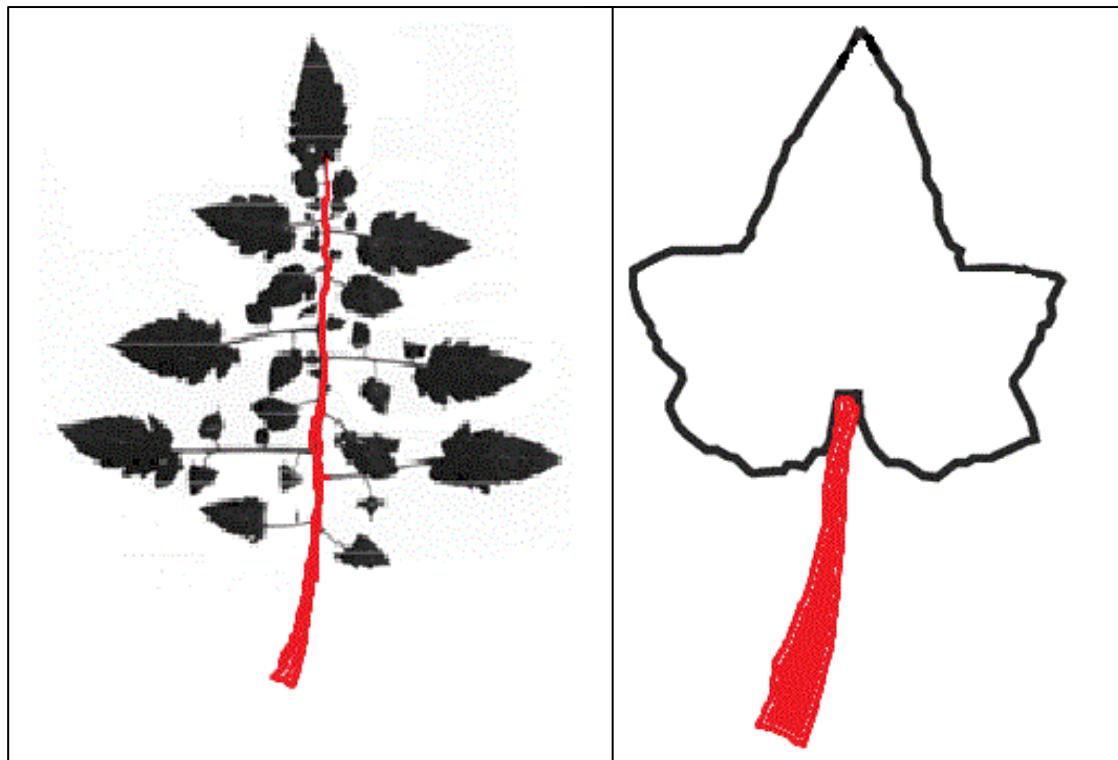
- ✓ 1 échantillon = 5 feuilles entières de tomate ou de concombre.
- ✓ Feuille à échantillonner → 5<sup>e</sup> feuille à partir de l'apex.
- ✓ 1<sup>re</sup> feuille à compter dans l'apex → 1<sup>re</sup> feuille > 10 cm.

### **Extraction de la sève**

- ✓ Garder seulement les pétioles (Figure 1).
- ✓ TRANCHER les pétioles en petits morceaux de  $\pm$  1 cm.
- ✓ MÉLANGER les pétioles des 5 feuilles dans un bol.

- ✓ PRÉLÉVER au hasard dans le bol quelques morceaux.
- ✓ INTRODUIRE dans le presse-ail.
- ✓ PRESSER les pétioles et faire tomber les gouttes de sève dans un petit récipient.
- ✓ RECUEILLIR environ 4-5 ml (cuillère à thé).
- ✓ DILUER la sève avec de l'eau distillée ou déminéralisée.
- ✓ NETTOYER les presses-ail entre chaque échantillon avec de l'eau distillée.

**Note.** La sève brute ou diluée peut être congelée pour des lectures ultérieures.



**Figure 1. Pétioles des feuilles de tomate et de concombre.**

## **Dilution des échantillons**

- ✓ Le Nitrachek permet la mesure entre 5 et 500 ppm de nitrates.
- ✓ La tomate peut contenir entre 1 000 et 6 000 ppm nitrates.
- ✓ Le concombre peut contenir entre 1 000 et 4 500 ppm nitrates.
- ✓ L'échantillon de sève, tomate ou concombre, devrait être dilué à 1:20.
- ✓ 1 :20 → 1 goutte de sève dans 19 gouttes EAU distillée.
- ✓ Cette opération est très importante, il faut s'efforcer de former avec le compte-gouttes, la pipette ou la seringue des gouttelettes de taille identique.
- ✓ Une seule goutte en plus ou en moins va avoir une influence d'au moins 5 % sur le résultat...

Préparé le 4 mai 2011

Révisé le 17 juin 2011

Révisé le 24 juin 2011

Gilles Turcotte, agr., M. Sc.

***Agrisys consultants inc.***