

Évaluation des effets de la présence des mycorhizes dans le terreau pendant et après le cycle de production d'annuelles en paniers suspendus



Rapport final

Projet réalisé dans le cadre du

**Programme de soutien à l'innovation horticole
du ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation
du Québec**

par



Janvier 2008

REMERCIEMENTS

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

**Ministère
de l'Agriculture,
des Pêcheries
et de l'Alimentation**

Québec



Nos remerciements pour leur participation :

Les serres Mirabel
Les serres Sainte-Anne
Les serres Sylvain Cléroux
ITA Campus de St-Hyacinthe
Annabel Carignan, agr. IQDHO
Caroline Martineau, agr. IQDHO
Marylaine deChantal, agr. IQDHO
Régis Larouche, IQDHO
Carmen Genest, IQDHO
Marie-Claude Limoges, agr. IQDHO

Table des matières

Introduction	7
Principaux objectifs du projet.....	7
Revue de littérature.....	8
Matériel et méthode.....	13
Les végétaux à l'étude	13
Les traitements	13
Source de champignons mycorhiziens	13
Étapes de réalisation du projet	14
L'installation des dispositifs (production)	15
L'installation des dispositifs (extérieur).....	15
Prise de données.....	18
En production.....	18
À l'extérieur	19
Résultats	20
Les résultats de production en serre	20
Les serres Sainte-Anne	20
• Hauteur des plants (graphique 1)	20
• Diamètre des plants (graphique 2)	21
• Nombre de boutons floraux (graphique 3)	21
• Nombre de fleurs (graphique 4).....	21
• Teneur en chlorophylle (graphique 5).....	22
• Colonisation des racines (graphiques 67 et 68)	23
• Analyse foliaire : % N-NTK et % P total (graphiques 6 et 7).....	23
• Analyse de sol SME (nitrate, phosphate, pH, conductivité électrique) (graphiques 8, 9, 10 et 11).....	24
• Masse sèche de la partie aérienne (graphique 12)	26
Les serres Mirabel	27
• Hauteur des plants (graphique 13)	27
• Diamètre des plants (graphique 14)	27
• Nombre de boutons floraux (graphique 15)	28
• Nombre de fleurs (graphique 16).....	28
• Teneur en chlorophylle (graphique 17).....	29
• Colonisation des racines.....	29
• Analyse foliaire : %N-NTK et %P total (graphiques 18 et 19).....	30
• Analyse de sol SME (nitrate, phosphate, pH, conductivité électrique) (graphiques 20, 21, 22 et 23).....	31
• Masse sèche de la partie aérienne (graphique 24)	32
Les Serres Sylvain Cléroux.....	33
• Hauteur des plants (graphique 25)	33
• Diamètre des plants (graphique 26)	33
• Nombre de fleurs (graphique 28).....	34
• Teneur en chlorophylle (graphique 29).....	35
• Colonisation des racines.....	36
• Analyse foliaire : %N-NTK et % P total (graphiques 30 et 31).....	36
• Analyse de sol SME (nitrate, phosphate, pH, conductivité électrique) (graphiques 32, 33, 34 et 35).....	37

• Masse sèche de la partie aérienne (graphique 36)	38
Discussion par site pour la partie en production.....	39
Les Serres Sainte-Anne.....	39
Les Serres Mirabel.....	40
Les Serres Sylvain Cléroux.....	41
Discussion globale pour la partie en production	42
Les résultats pour la partie à l'extérieur (ITA)	44
Les Serres Sainte-Anne.....	44
• Analyse de sol SME (nitrate, phosphate, pH, conductivité électrique) (graphiques 38, 39, 40 et 41).....	44
• Analyse foliaire : Fe, PO ₄ , Ca et NO ₃ (graphiques 41, 42, 43 et 44)	46
• Masse sèche de la partie aérienne (graphique 45)	47
• Nombre d'irrigations (graphique 62)	48
• La teneur en chlorophylle (graphique 65)	48
• Colonisation des racines (graphique 66)	48
• Dépistage des plants	49
Les Serres Mirabel.....	49
• Analyse de sol SME (nitrate, phosphate, pH, conductivité électrique (graphiques 46, 47, 48 et 49).....	49
• Analyse foliaire : Fe, PO ₄ , Ca et NO ₃ (graphiques 50, 51, 52 et 53)	50
• Masse sèche de la partie aérienne (graphique 45)	52
• Nombre d'irrigations.....	53
• La teneur en chlorophylle	54
• La colonisation des racines	54
• Le dépistage des plants.....	54
Les Serres Sylvain Cléroux.....	55
• Analyse de sol SME (nitrate, phosphate, pH, conductivité électrique (graphiques 54, 55, 56 et 57).....	55
• Analyse foliaire : Fe, PO ₄ , Ca et NO ₃ (graphiques 58, 59, 60 et 61)	56
• Masse sèche de la partie aérienne (graphique 45)	57
• Nombre d'irrigation (graphique 62)	58
• La teneur en chlorophylle	58
• Colonisation des racines.....	59
• Dépistage des plants	60
Discussion par site pour la partie à l'extérieur.....	61
Les Serres Sainte-Anne.....	61
Les Serres Mirabel.....	62
Les Serres Sylvain Cléroux.....	62
Discussion globale pour la partie à l'extérieur.....	63
Conclusion finale	65
Bibliographie	66

Introduction

Le projet consistait à évaluer les effets de la présence de mycorhizes dans le terreau pendant et après le cycle de production d'annuelles en paniers suspendus. Ce projet visait à déterminer l'impact des mycorhizes dans le cycle de production, mais aussi à suivre l'évolution des paniers suspendus avec et sans mycorhizes soumis aux conditions extérieures. Puisque les mycorhizes peuvent favoriser la croissance des plantes, la résistance à différents stress et la résistance des plants aux conditions extérieures difficiles, l'ajout de champignons mycorhiziens dans la production de plantes ornementales en serre pouvait donc devenir avantageux pour le producteur et pour le consommateur.

Principaux objectifs du projet

Le projet avait comme objectifs de :

- 1 : Mesurer le taux d'inoculation des racines pour chaque traitement en fin de production ;
- 2 : Mesurer la croissance (hauteur, diamètre, nombre de hampes florales) en serre des plantes inoculées en comparaison aux plantes non-mycorhizées ;
- 3 : Déterminer si les plants inoculés possèdent une meilleure résistance aux conditions de sécheresse ;
- 4 : Déterminer si les plants inoculés semblent posséder une meilleure résistance à l'incidence de maladies, en conditions de production et à l'extérieur ;
- 5 : Mesurer la biomasse aérienne sèche et racinaire des différents traitements en fin de production et après quelques semaines à l'extérieur ;
- 6 : Diffuser l'information retenue par le présent projet aux producteurs en serre du Québec, au Syndicat des producteurs en serre du Québec, aux conseillers et aux intervenants de l'industrie

Revue de littérature

La production de plantes ornementales en serre utilise des substrats conçus et manipulés de façon à réduire au minimum la présence d'agents pathogènes et de contaminants. Comparativement au sol naturel, ces substrats possèdent donc des populations microbiennes faibles. Cette faible présence d'agents microbiens dans les substrats entraîne aussi la diminution des microorganismes bénéfiques pour la plante tels que les champignons mycorhiziens.

Le mot mycorhize se divise en deux parties : « myco » qui signifie champignon et « rhyze » qui se réfère à racine. Le nom mycorhize est donné à l'association symbiotique entre le champignon mycorhizien et le système racinaire de la plante. Il existe deux groupes de mycorhizes, les ectomycorhizes et les endomycorhizes. La principale différence entre ces deux types est le site de fixation du champignon à la racine. Les ectomycorhizes sont des colonisatrices de surface donc les hyphes vont pénétrer la racine entre les cellules corticales mais sans s'y introduire. Les cellules corticales, formant le cylindre cortical se situent près de la paroi racinaire et assurent le transport des éléments absorbés jusqu'au centre de la racine (Raven et al, 2000). Les ectomycorhizes sont associées particulièrement aux conifères et à certains feuillus. Les endomycorhizes, quant à elles, pénètrent la racine entre les cellules corticales et parfois même à l'intérieur où elles forment des structures d'échange, les arbuscules ou les vésicules. De cette façon, la surface de contact entre l'hyphe et la cellule est plus grande et ainsi facilite l'échange des métabolites entre les deux partenaires. Les champignons mycorhiziens permettent à la plante d'obtenir une extension de son système racinaire (Hamel, 2004) et d'optimiser son approvisionnement en eau et en éléments minéraux, d'améliorer sa résistance contre certains stress dont le froid et la sécheresse, ainsi que d'augmenter sa protection contre certains parasites (Dalpé, 2003). En retour, la plante fournit aux champignons des sources de carbones qu'elle produit grâce à la photosynthèse. Les endomycorhizes colonisent principalement les herbacées, par exemple les plantes annuelles mais peuvent aussi coloniser plusieurs plantes ligneuses. Les endomycorhizes sont formées uniquement par des champignons de la division des Glomeromycètes, par exemple le *Glomus intraradices*.

Dans un système de production en serre, les plantes sont exposées à des conditions favorables pour optimiser la croissance végétale et la rentabilité de la production. La fertilisation, l'arrosage, la température et les suivis phytosanitaires sont gérés de façon à éviter les problèmes et les dommages que pourrait subir la production. La littérature rapporte que des hauts taux de phosphore peuvent nuire au développement des mycorhizes (Nagahashi et al. 1996) et que l'effet des mycorhizes n'est pas toujours significatif lorsque la culture est irriguée adéquatement (Porcel et al. 2004). Les avantages que procurent les mycorhizes à la plante dans un système de production seraient donc moins évidents.

Malgré leur large variété de plantes hôtes, certains champignons mycorhiziens peuvent avoir des préférences envers une plante hôte en particulier (Zhu et al. 2000). De plus, la rapidité de colonisation peut varier selon l'espèce de champignons mycorhiziens utilisée dans la culture (Hayman 1983). Dans ce cas, les effets bénéfiques apportés aux différentes plantes ornementales ne s'expriment pas toujours de la même façon (taux de colonisation, époque de floraison, etc.).

Voici quelques effets de la mycorhization rapportés dans la littérature sur différentes plantes ornementales en observant la floraison, la croissance et la résistance de la plante.

FLORAISON

L'effet de la mycorhization sur la floraison peut être différent selon les espèces utilisées et les pratiques culturales employées. Par exemple, une étude démontre que des plants de géraniums mycorhizés ont eu une floraison plus tardive comparativement à ceux n'ayant pas été mycorhizés (Nowak, 2003). Tandis qu'une autre étude démontre le contraire avec des résultats démontrant un délai de floraison des plants de géraniums plus court avec l'ajout de mycorhizes (Shaw et al). D'autres exemples démontrent différents effets de la mycorhization sur le délai de floraison :

Une réduction du délai de floraison dans la culture de;

- *Chrysanthème morifolium* Ramat (Sohn et al. 2002);
- *Impatiens balsamina* (Gaur et al., 2000);
- *Callistephus chinensis* (Gaur et Adholeya, 2005);
- *Petunia hybrida* (Gaur et Adholeya, 2000) ;

Une augmentation du délai de floraison pour la culture de;

- *Petunia hybrida* (Gaur et Adholeya, 2005) ;
- *Tagete erecta* (Gaur et Adholeya, 2005) ;

Aucun effet pour le délai de floraison pour la culture de

- *Dianthus caryophyllus* (Gaur et Adholeya, 2005).
- *Papaver rhoeas* (Gaur et Adholeya, 2005).

La variation du nombre de fleurs pourrait aussi être un avantage engendré par la mycorhization. Dans certains cas, les champignons mycorhiziens ont permis d'augmenter le nombre de fleurs pour les espèces *Petunia hybrida*, *Callistephus chinensis* et *Impatiens balsamina* (Gaur et al., 2000). D'un autre côté, *Tagetes erecta* et *Petunia hybrida* mycorhizés ont formé moins de fleurs que les mêmes plants qui étaient non-mycorhizés, (Gaur et Adholeya, 2005).

Les facteurs tels que la fertilisation, la régie d'arrosage, le cultivar de la plante, l'espèce de champignons mycorhiziens et autres facteurs environnementaux peuvent influencer l'effet des mycorhizes. C'est pour ces raisons qu'il est très difficile de standardiser les impacts des mycorhizes au niveau de la floraison pour les producteurs puisqu'ils ont chacun leur façon de gérer la production.

CROISSANCE

L'augmentation de la croissance végétative pourrait être aussi un avantage intéressant pour les producteurs à utiliser les champignons mycorhiziens. Une plus grande croissance végétative pourrait signifier un délai de production plus court et par le fait, même une meilleure rentabilité pour le producteur. L'effet des mycorhizes sur la croissance végétative des plantes est fortement lié aux conditions d'arrosage et à la fertilité des substrats. Selon une étude faite par Kalvati et al. (2005), les plants d'orge mycorhizés soumis à des conditions de sécheresse ont obtenu une biomasse plus élevée de 50 % comparativement aux plants d'orge non-mycorhizés. Cette même étude a évalué l'impact de l'irrigation sur les mêmes plants d'orge dans les mêmes conditions. Aucune différence significative n'est ressortie entre les plants mycorhizés et non-mycorhizés. Les chercheurs expliquent ces résultats par la disponibilité adéquate de l'eau pour la plante. Des recherches rattachées à la croissance des fleurs annuelles démontrent une augmentation de la masse sèche grâce à la mycorhization (Gaur et Adholeya, 2005; Gaur et al., 2000). Ces études

ont cependant été effectuées sur des sols indiens probablement plus arides et très différents que les conditions environnementales retrouvées dans les serres ici. Dans ce cas, la plante a pu profiter des bénéfices de la mycorhization. Pour se rapprocher des conditions semblables employées en serre au Québec, voici une étude réalisée sur des boutures de chrysanthèmes produits en serre. Une augmentation significative du poids sec des parties végétatives des plants de chrysanthèmes mycorhizés a été observée comparativement aux plants non-mycorhizés (Sohn et al., 2003).

Les quantités de phosphore utilisées dans la culture peuvent aussi influencer l'action des mycorhizes. Selon Novak (2003), la mycorhization permet d'augmenter la croissance des plantes sous un régime faible en phosphore. Les bénéfices que peuvent offrir les champignons mycorhiziens sont donc plus faibles lorsque des quantités de phosphore utilisées sont élevées.

Une meilleure absorption des éléments minéraux pourrait aussi contribuer à une meilleure croissance de la plante. Des études ont été réalisées dans le but de connaître l'impact des mycorhizes sur l'absorption de différents minéraux. Selon Sohn et al (2003), l'absorption des macronutriments (P, K, Mg, Ca) a été supérieure pour des boutures de chrysanthèmes mycorhizées comparativement aux boutures non-mycorhizées et les mêmes résultats ont été obtenus avec Mn, Cu et Zn.

RÉSISTANCE

Pour les jardinières, la résistance aux stress est un facteur important en particulier les stress hydriques. Les plantes cultivées en jardinières peuvent subir durant l'été de hautes températures, des vents forts et auront accès à une quantité d'eau limitée par le volume de substrat. Pour obtenir des plantes plus résistantes à la sécheresse, l'introduction de mycorhizes dans les jardinières pourrait être une solution intéressante pour les consommateurs puisqu'ils doivent arroser les paniers régulièrement. La résistance à la sécheresse fournie par les mycorhizes est très bien documentée (Dalpé, 2003; Khalvati et al., 2005; Porcel et al., 2004). L'augmentation de la croissance, l'augmentation de l'absorption nutritive, le maintien du niveau de chlorophylle et de la turgescence en période de stress hydrique sont quelques phénomènes qui démontrent que la plante est mieux adaptée et tolèrent davantage les stress hydriques. Lors d'un stress hydrique, la chlorophylle diminue dans la plante (Subramanian et al. 1995). Selon Augé et al. (1986) dans des conditions où les plants sont soumis à un stress hydrique, le

contenu en chlorophylle des plants de rosiers inoculés par *G. intraradices* est supérieur aux plants non-mycorhizés. La fermeture des stomates (petits pores sur les feuilles) lors d'un manque d'eau est un mécanisme engendré par la plante pour limiter les pertes d'eau par la transpiration de la feuille. Les données d'une expérience réalisée sur des plants d'orge démontrent bien la capacité des plants mycorhizés à conserver leur conductance stomatale et même la turgescence durant un stress hydrique. De façon générale, les plantes mycorhizées devraient visuellement avoir une allure plus tolérante à la sécheresse en pouvant maintenir plus longtemps la turgescence durant un manque d'eau. De plus, les champignons mycorhiziens peuvent offrir aux racines colonisées une protection contre les microorganismes pathogènes (Abdalla et Abdel-Fatta, 2000 ; Abdel-Fattah et Mankarios, 1995).

CONCLUSION

Les champignons mycorhiziens sont des agents biologiques. Ils ont donc besoin de conditions environnementales favorables à leur développement pour maximiser leur performance. Dans un système de production conventionnel, (utilisation régulière de pesticides et d'engrais chimiques) les mycorhizes pourraient ne pas être en mesure de donner le maximum de bénéfices pour la plante. Par contre, les champignons mycorhiziens ont bien leur place dans une approche de développement durable, dans l'approche d'une production biologique ou dans l'application de pratiques culturales qui valorisent les engrais organiques. Selon Gaur et al., (2000) les plantes ornementales performant de façon égale entre une production utilisant des fertilisants chimiques et une production avec des inoculants mycorhiziens fertilisée avec des engrais organiques. De plus, la mycorhization des plantes ornementales destinées à la plantation en jardinière pourraient être profitable pour le consommateur puisque, selon Novak (2003), les champignons mycorhiziens améliorent les qualités des plantes en conditions extérieures.

Matériel et méthode

Les végétaux à l'étude

- Boutures enracinées d'impatiète de Nouvelle-Guinée
- Plantées dans des paniers suspendus de 12 " au nombre de cinq boutures par panier

Les traitements

1. *Pro-Mix* (témoin)
2. *Pro-Mix BX / Mycorhize pro*
3. Substrat conventionnel du producteur
4. Substrat conventionnel du producteur + les boutures roulées dans la poudre PS3

Substrat conventionnel Serres Sainte-Anne : Terreau léger de Fafard

Substrat conventionnel Serres Mirabel : BM8 avec compost

Substrat conventionnel Serres Sylvain Cléroux : Terreau léger de Fafard

Source de champignons mycorhiziens

- *Pro-Mix BX / Mycorhize pro* (avec champignons endomycorhiziens *Glomus intraradices*)
- *PS3* (poudre contenant des champignons endomycorhiziens *Glomus intraradices*)

Quatre traitements ont été réalisés. Deux traitements étaient destinés à comparer le substrat normalement utilisé par les producteurs participants avec et sans mycorhizes. Pour obtenir des mycorhizes dans le substrat des producteurs, les champignons mycorhiziens ont été ajoutés en roulant les petites mottes enracinées des boutures légèrement humides dans la poudre (PS3). Deux autres traitements ont été consacrés aux substrats composés de *Pro-Mix*. Présentement sur le marché, les producteurs ont accès à des substrats qui contiennent déjà des champignons mycorhiziens. Au Québec, il existe un substrat de *Pro-Mix BX / Mycorhize pro* avec champignons mycorhiziens préalablement incorporés dans le mélange du substrat. Un substrat de *Pro-Mix* sans mycorhize a été comparé avec le type de substrat *Pro-Mix BX / Mycorhize pro*. De cette façon, l'effet des champignons mycorhiziens peut être évalué de deux types de façon utilisés par le producteur, soit en ajoutant lui-même les mycorhizes ou en se procurant un substrat déjà inoculé de champignons mycorhiziens.



Étapes de réalisation du projet

Date	Étapes de réalisation
En production	
20-22-23 février 2007	Installation des dispositifs, plantation des boutures
19-20-21 mars 2007	Prise de données 1
17-18-20 avril 2007	Prise de données 2
6 mai 2007	Test de colonisation, 1 panier par traitement avec mycorhize (T2 et T4) par producteur
15 mai 2007	Test viabilité des mycorhizes du <i>Pro-Mix</i> BX / Myke Pro et du PS3
22-23-24 mai 2007	Prise de données 3 Envoi d'échantillons au laboratoire d'analyses Réinoculation de certains paniers*
5 juin 2007	Transfert des paniers suspendus à l'ITA
À l'extérieur (entretien quotidien des paniers suspendus)	
26 juin 2007	Prise de données 1
17 juillet 2007	Prise de données 2
20 août 2007	Prise de données 3
14 septembre 2007	Envoi d'échantillons au laboratoire d'analyses (extérieur)

* Puisque les résultats de colonisation des échantillons que nous avons fait parvenir à l'avance au laboratoire n'indiquaient aucune mycorhization dans les paniers testés, nous avons réinoculé certains paniers avec une solution de champignons mycorhiziens préparée avec la poudre de PS3 selon le mode d'emploi. La quantité des paniers réinoculés correspond à la moitié des paniers transférés à l'extérieur, soit 4 ou 5 paniers (des traitements T2 et T4, les traitements mycorhizés seulement).

L'installation des dispositifs (production)

Trois sites ont servi à la mise en place des dispositifs expérimentaux pour la partie production.

- Les serres Sainte-Anne (St-Alexandre)
- Les serres Sylvain Cléroux (Laval)
- Les Serres Mirabel (St-Augustin)

Chez les trois producteurs, les traitements 1, 2, 3, et 4 ont été réalisés. Chaque traitement comprenait 5 paniers et a été soumis à quatre répétitions.

- 4 traitement x 5 paniers x 4 répétitions = 80 paniers par site
- Au grand total pour l'ensemble du projet, 240 paniers ont été évalués.

L'entretien des paniers était propre à chaque producteur, c'est-à-dire qu'aucun traitement spécial n'a été réalisé sur les paniers suspendus à l'étude. Les paniers suspendus étaient traités comme le reste de la production.

L'installation des dispositifs (extérieur)

Lorsque les paniers suspendus ont atteint la maturité de vente (5 juin), une partie a été transférée sur le site de l'ITA (Institut de technologie agroalimentaire de St-Hyacinthe) afin de continuer l'évaluation en conditions extérieures. Pour chaque producteur, certains paniers suspendus des traitements T4 et T3 (substrat conventionnel du producteur, avec et sans mycorhize) ont été transférés à l'ITA. Par contre, les plants des traitements T1 et T2 (*Pro-Mix* et *Pro-Mix* BX / Mycorhize pro) provenaient seulement des Serres Mirabel. Une quantité de 69 paniers en provenance des trois sites a été étudiée durant la période estivale (5 juin au 12 septembre).

Un long support à jardinière a été construit pouvant contenir deux paniers de large et 35 paniers sur sa longueur. Cette structure a été implantée à un endroit où les facteurs environnementaux (pluie, soleil, vent, etc.) étaient les plus homogènes possible pour tous les paniers.

- L'entretien des paniers à l'extérieur a été minimal : arrosage et une fertilisation en début de saison avec un engrais à libération lente : Osmocote plus 15-9-12.

- L'arrosage des paniers a été effectué par l'IQDHO la semaine et par des employés de l'ITA la fin de semaine.
- Les paniers étaient arrosés jusqu'à égouttement lorsque qu'il démontrait des signes de manque d'eau évalué avec une cote visuelle du niveau de flétrissement de 1 à 3.



Disposition des paniers dans la serre

Les paniers suspendus ont été mis en cultures soit sur des tables ou sur des lignes de paniers suspendus. Les paniers étaient disposés par répétition. T signifie le type de traitement, R la répétition et P est l'identification du panier.



Sur table :



T3R1P1	P2	P3	P4	P5	T2R2P2	P2	P3	P4	P5	T1R3P1	P2	P3	P4	P5	T4R3P1	P2	P3	P4	P5	T3R4P1	P2	P3	P4	P5	T4R4P3	
T2R1P1	P2	P3	P4	P5	T1R2P1	P2	P3	P4	P5	T4R2P1	P2	P3	P4	P5	T3R3P1	P2	P3	P4	P5	T2R4P1	P2	P3	P4	P5	T4R4P2	
T1R1P1	P2	P3	P4	P5	T4R1P1	P2	P3	P4	P5	T3R2P1	P2	P3	P4	P5	T2R3P1	P2	P3	P4	P5	T1R4P1	P2	P3	P4	P5	T4R4P1	T4R4P4

Paniers suspendus sur ligne :



Prise de données

En production

Pour les 3 sites, la collecte de données a été identique, faite dans la même semaine, par la même personne, à différentes étapes de production. Environ 30 jours ont séparé les trois collectes de données.

- En début de production, des échantillons de sol ont été pris sur les différents substrats utilisés, pour en faire une analyse SME en laboratoire.
- En cours de production, pour chaque panier des mesures ont été prises de;
 - o Hauteur des plants
 - o Diamètre des plants
 - o Le nombre de boutons floraux
 - o Le nombre de fleurs
 - o Le niveau de chlorophylle (CM1000 chlorophyll meter)
 - o L'apparence visuelle pour détecter les maladies

De plus, à la fin de la production, lors de la 3^e prise de données, des échantillons ont été envoyés au laboratoire afin d'être analysés ;

- Échantillons de substrat pour des analyses SME complètes (16 paniers par site)
- Tests de colonisation faits en laboratoire (32 paniers par site)
- Échantillons foliaires (16 paniers par site)
- La masse sèche aérienne (32 paniers par site)

À l'extérieur

64 paniers des 240 paniers suspendus initiaux ont été transférés à l'extérieur, plus 12 paniers de surplus, au cas où un problème surviendrait. Au total, 76 paniers ont été entretenus et étudiés. Les prises de données suivantes ont été effectuées sur chaque panier tout au long de l'été :

- La pluviométrie
- L'état de flétrissement des plants avec une côte de 0 à 3 avant chaque arrosage
- Le niveau de chlorophylle (CM1000 chlorophyll meter) (1 fois par mois)
- Le dépistage des plants (1 fois par mois)
- Le niveau d'arrosage requis par la plante

À la fin du projet, d'autres échantillons ont été envoyés au laboratoire afin d'être analysés ;

- Échantillons de substrat pour des analyses SME complètes (32 paniers)
- Tests de colonisation faits en laboratoire (64 paniers)
- Échantillons foliaires (32 paniers)
- La masse sèche aérienne (64 paniers)

Résultats

Pour chacun des sites de production ainsi que pour le site situé à l'extérieur, les données de croissance et de développement ont été soumises à l'analyse de la variance (logiciel Statgraphics) et testées pour l'homogénéité de la variance. Chaque prise de données a été analysée statistiquement. Les moyennes des différents traitements ont été comparées à l'aide du test de comparaison multiple de Duncan ($p < 0,05$).

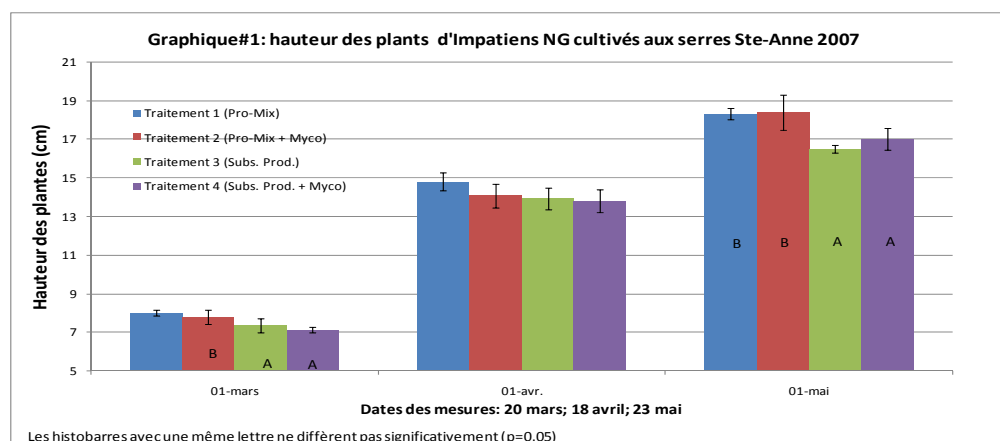
Les résultats sont présentés en deux parties distinctes soit en production, soit durant la période extérieure. Pour la partie évaluée en production, les données recueillies à partir des 3 différents sites ont été traités indépendamment.

Les résultats de production en serre

Les serres Sainte-Anne

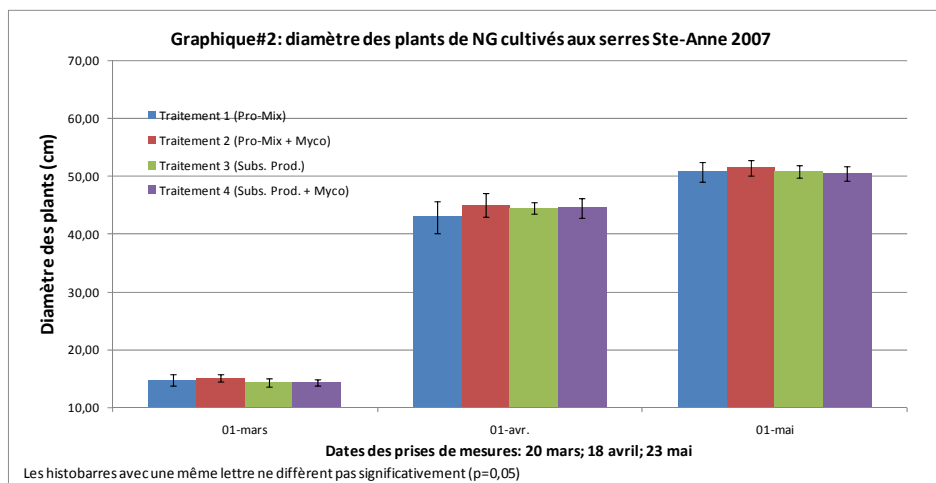
- **Hauteur des plants** (graphique 1)

Un mois après la mise en place du dispositif, c'est-à-dire lors de la première prise de données, la hauteur des plants cultivés dans les 2 traitements constitués de *Pro-mix* (T1 et T2) était significativement plus grande que la hauteur des plants cultivés dans le substrat du producteur (T3 et T4). Lors de la deuxième prise de données, deux mois après la mise en place, on n'observe plus aucune différence significative entre les différents traitements. Toutefois après le troisième mois de croissance, tout comme à la première prise de données, les plants cultivés dans les traitements contenant du *Pro-Mix* (T1 et T2) ont obtenu une hauteur plus grande que les plants cultivés dans les traitements composés du substrat du producteur. Durant tout le cycle de production, il n'y a eu aucune différence significative liée à la présence de mycorhizes, les différences étaient attribuées au type de substrats. (Graphique 1).



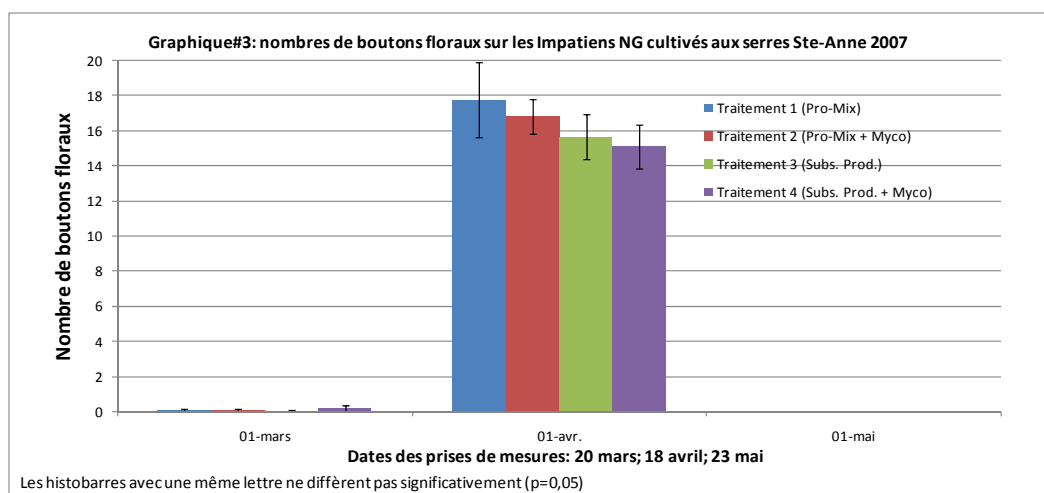
- **Diamètre des plants** (graphique 2)

Aucune différence significative



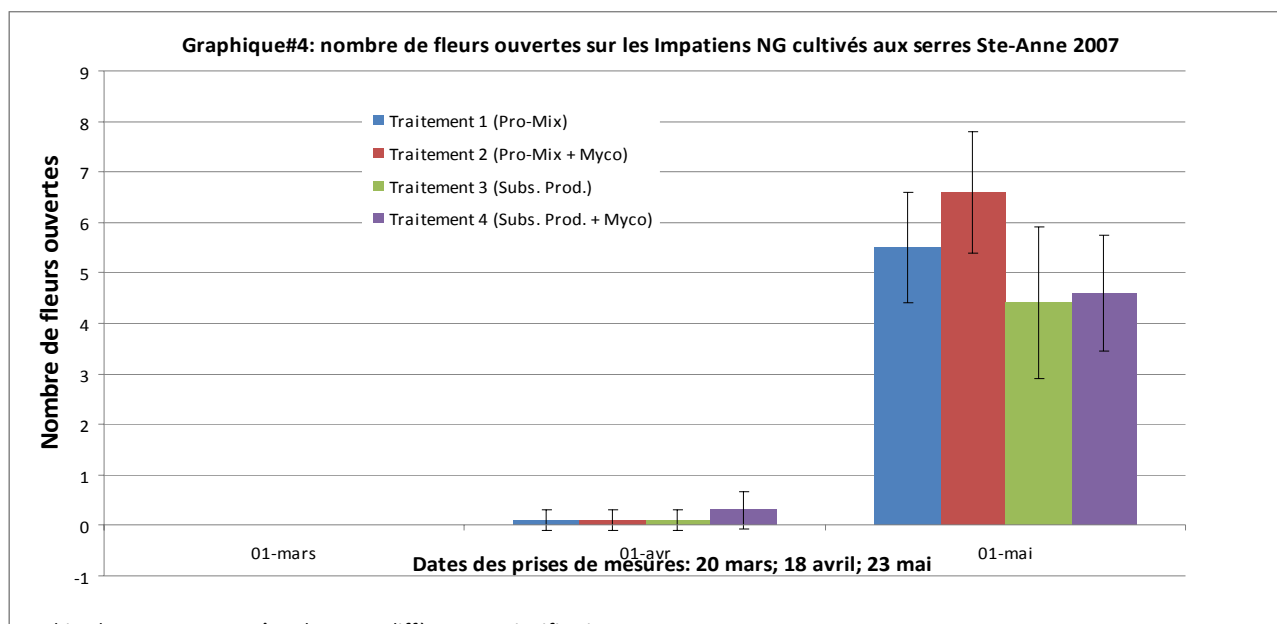
- **Nombre de boutons floraux** (graphique 3)

Aucune différence significative



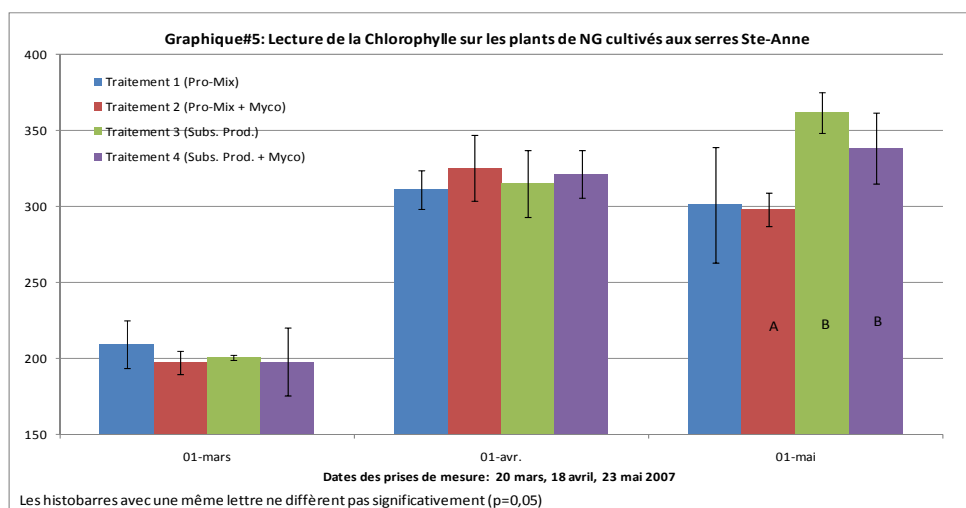
- **Nombre de fleurs** (graphique 4)

Les différents traitements n'ont pas influencé significativement le nombre de fleurs ouvertes. Cependant, le nombre de fleurs ouvertes sur les plants cultivés dans le *Pro-Mix*, particulièrement le traitement T2, étaient plus élevés que les plants cultivés dans le substrat du producteur (T3 et T4). Ces résultats ne sont toutefois pas assez différents pour être statistiquement valables.



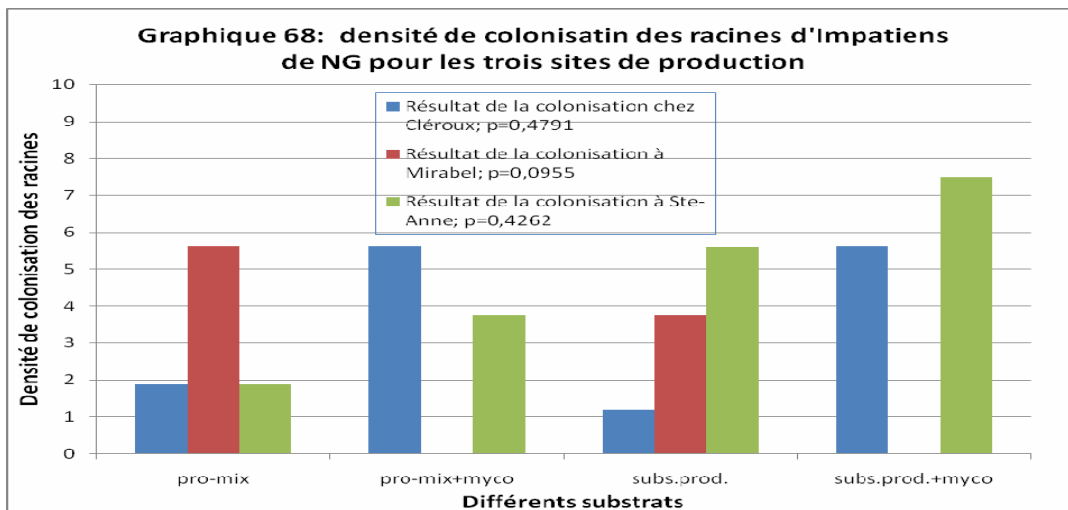
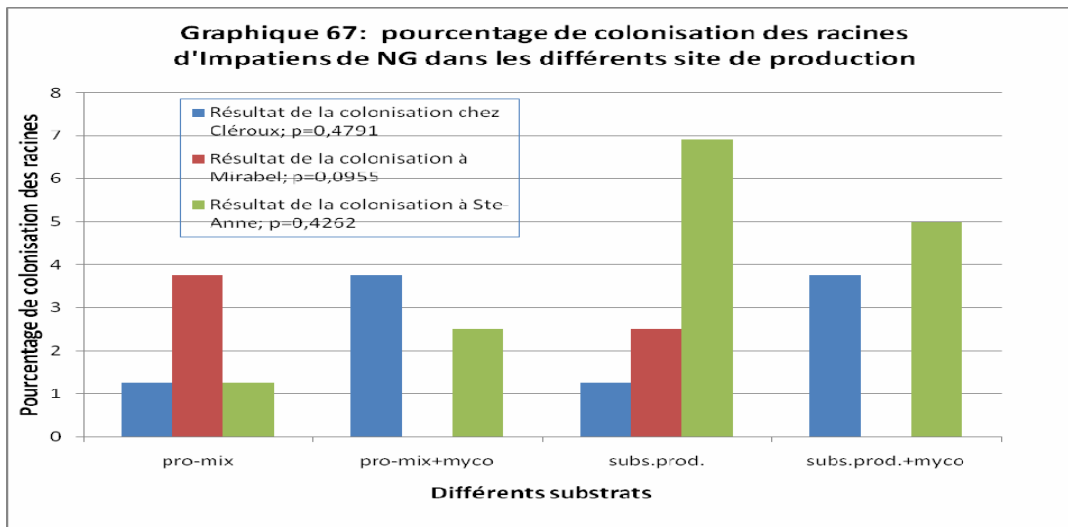
- **Teneur en chlorophylle (graphique 5)**

Pour les 2 premières prises de données, la luminosité dans les serres ne suffisait pas au lecteur de chlorophylle pour que les données soient valables. Les données obtenues ne pouvaient donc pas être analysées puisque l'appareil requiert un minimum de luminosité. Cependant, en fin de production, la luminosité était assez grande pour comparer les différents traitements. Le graphique indique que le niveau de chlorophylle dans les feuilles est statistiquement plus important dans les plants cultivés dans le terreau du producteur (T3 et T4) comparativement aux plants cultivés dans le substrat composé de Pro-Mix (T1 et T2). Par contre, aucun effet ne s'est démarqué à cause de la présence des champignons mycorhiziens.



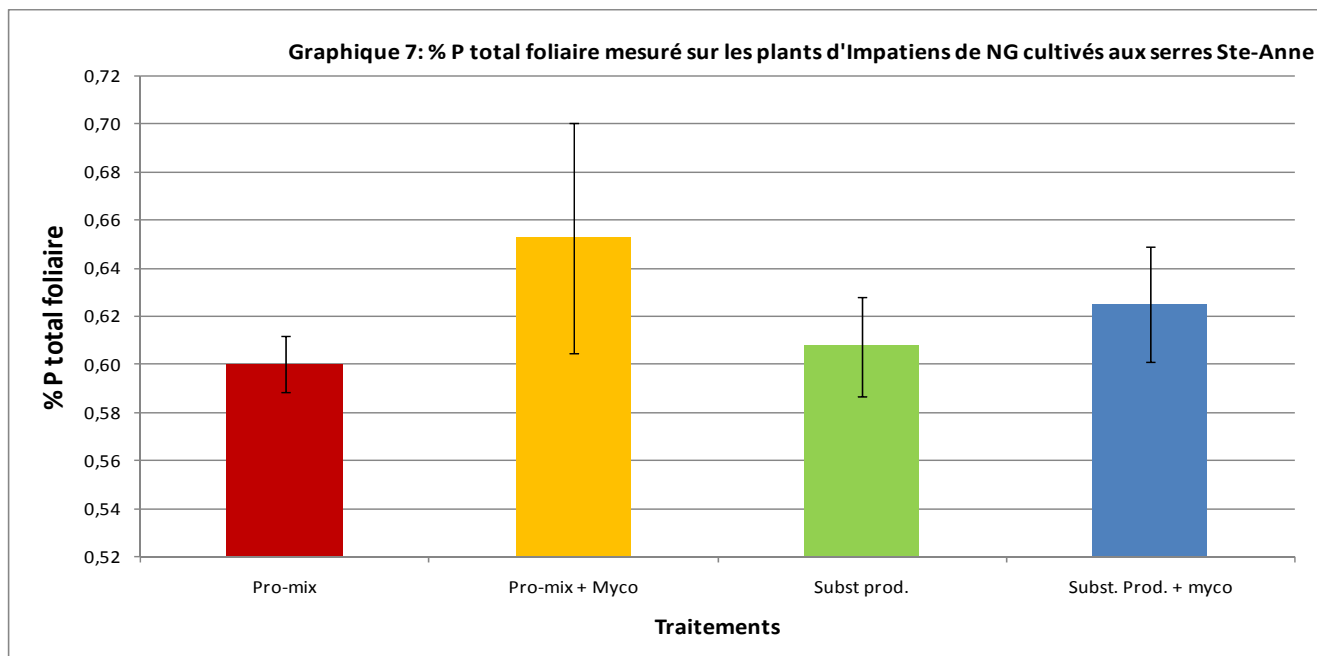
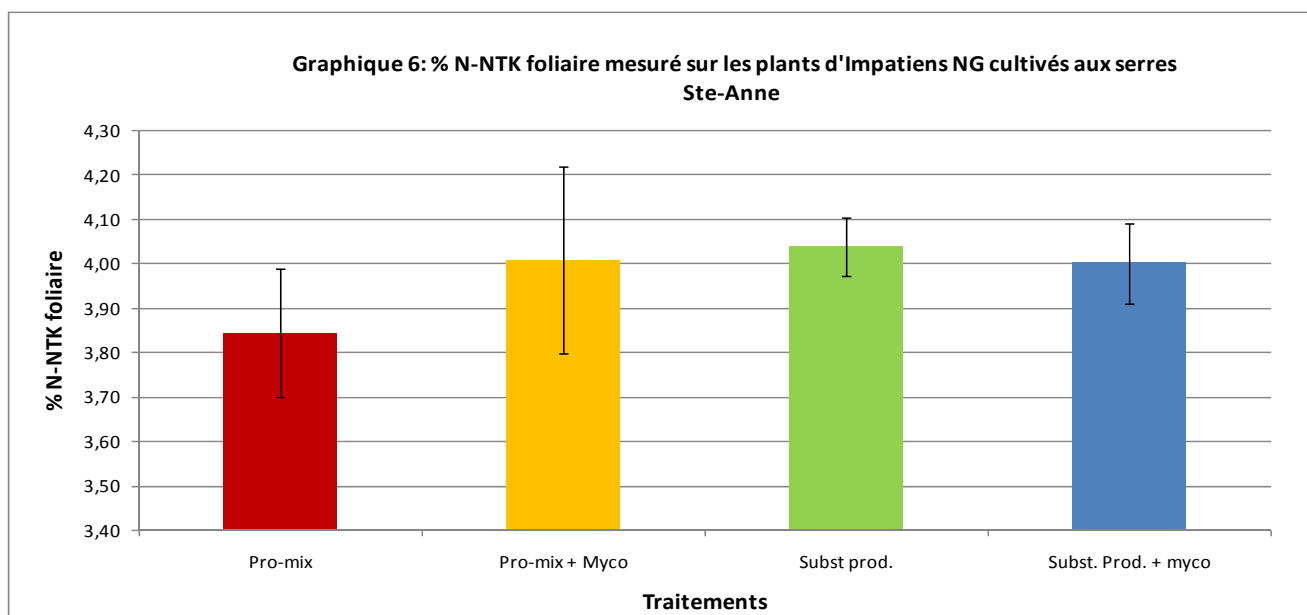
- **Colonisation des racines** (graphiques 67 et 68)

Aucune différence significative



- **Analyse foliaire : % N-NTK et % P total** (graphiques 6 et 7)

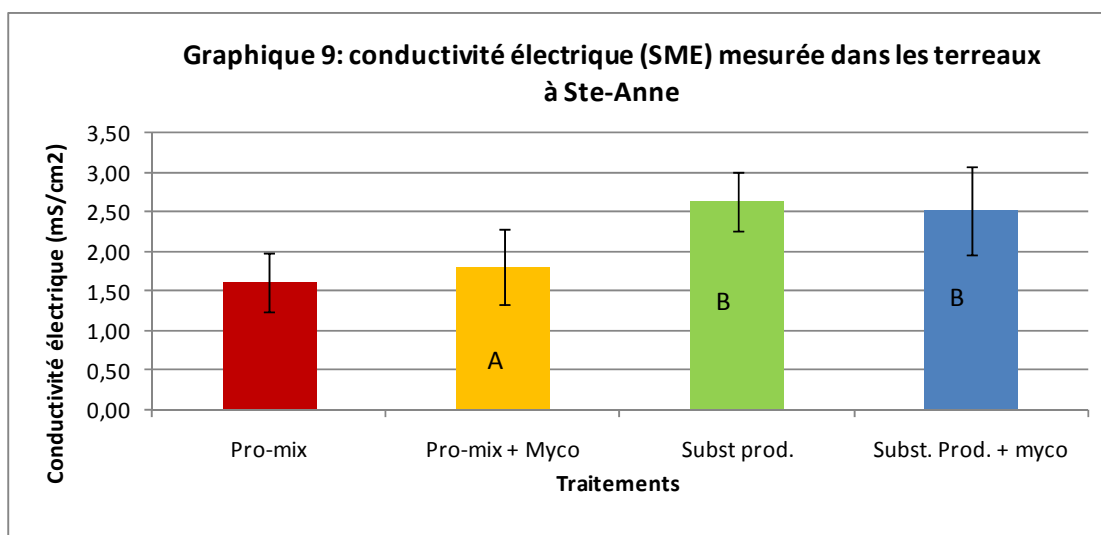
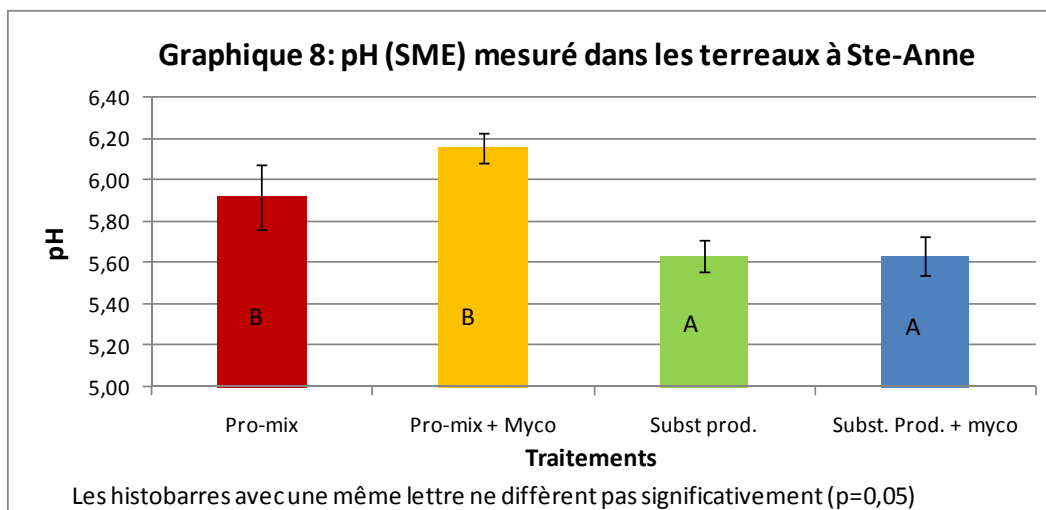
Il n'y a aucune différence significative entre les 4 traitements. Par contre, une tendance démontre une plus grande quantité de phosphore contenue dans les feuilles des plants mycorhizés lorsqu'ils sont comparés aux plants cultivés dans le même substrat sans mycorhizes (T1 avec T2 et T3 avec T4).

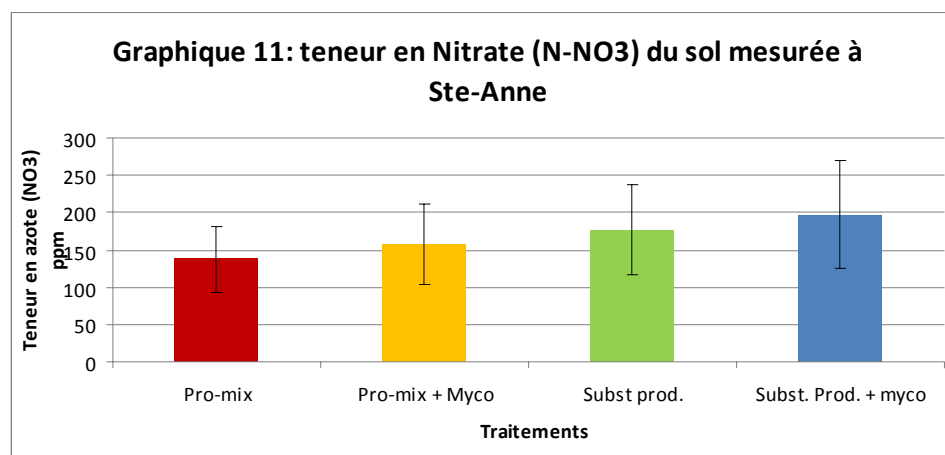
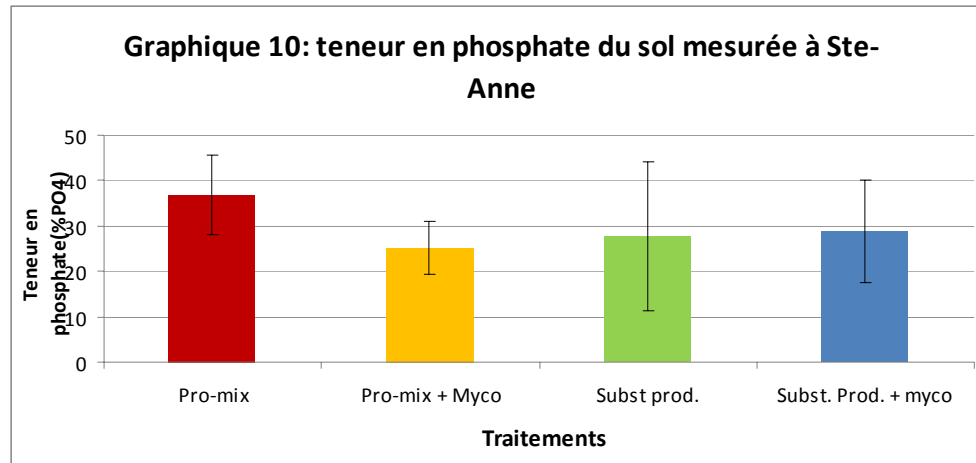


- **Analyse de sol SME (nitrate, phosphate, pH, conductivité électrique)**
(graphiques 8, 9, 10 et 11)

Les teneurs en phosphates et nitrates du sol n'ont pas varié de façon significative dans les 4 traitements comme le montrent les graphiques 10 et 11. Toutefois, on note une différence significative ($p=0,05$) des valeurs de pH entre les deux types de substrats. Le *Pro-Mix* et *Pro-Mix BX* ont un pH plus élevé (T2 : 6.16) comparativement au substrat utilisé par le producteur (T3 : 5.63, T4 : 5.64). Les variations de pH ne sont pas dues à la présence des champignons mycorhiziens, mais aux différents matériaux contenus dans le substrat (graphique 8). Dans le

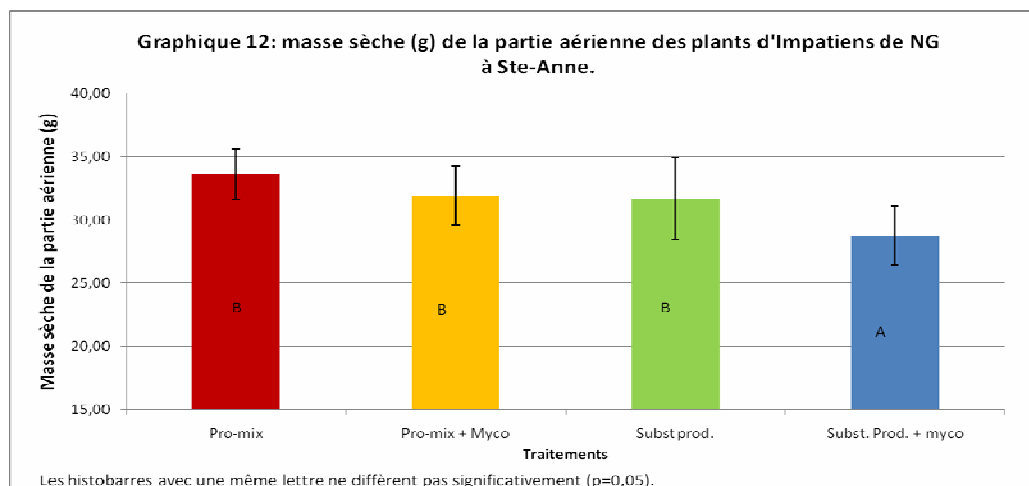
graphique 9, on observe une différence significative entre la conductivité électrique des deux substrats de *Pro-Mix* (T1 et T2) et les terreaux du producteur, c'est-à-dire que les valeurs de conductivité électrique dans les terreaux du producteur étaient 1ms/cm2 plus élevées que dans les deux terreaux de *Pro-Mix*. Comme les valeurs de pH, la présence de champignons mycorhiziens n'a pas influencé la conductivité électrique des différents substrats.





- **Masse sèche de la partie aérienne (graphique 12)**

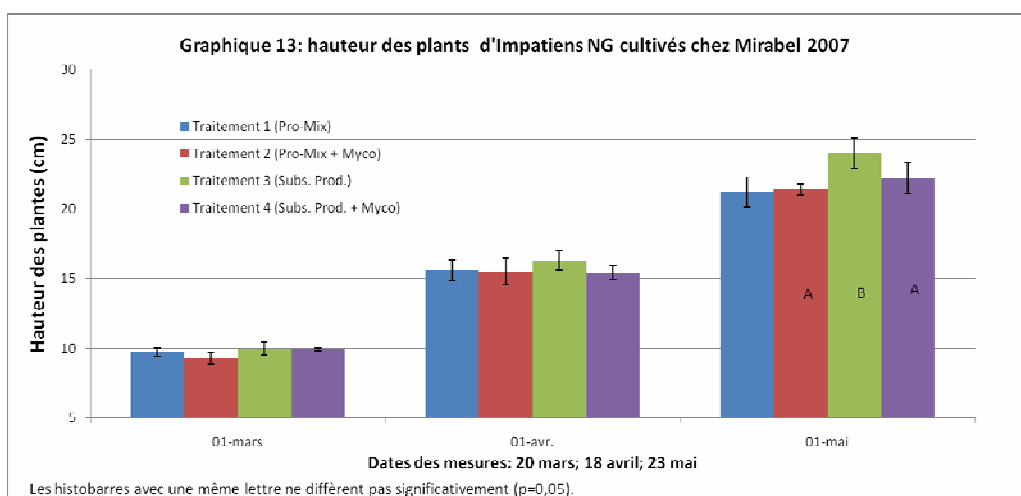
La masse sèche aérienne la plus faible a été mesurée dans le traitement composé du substrat du producteur inoculé avec la poudre de mycorhize (T4). Ce résultat est significativement inférieur aux 3 autres traitements qui n'ont pas de différences notables entre eux.



Les serres Mirabel

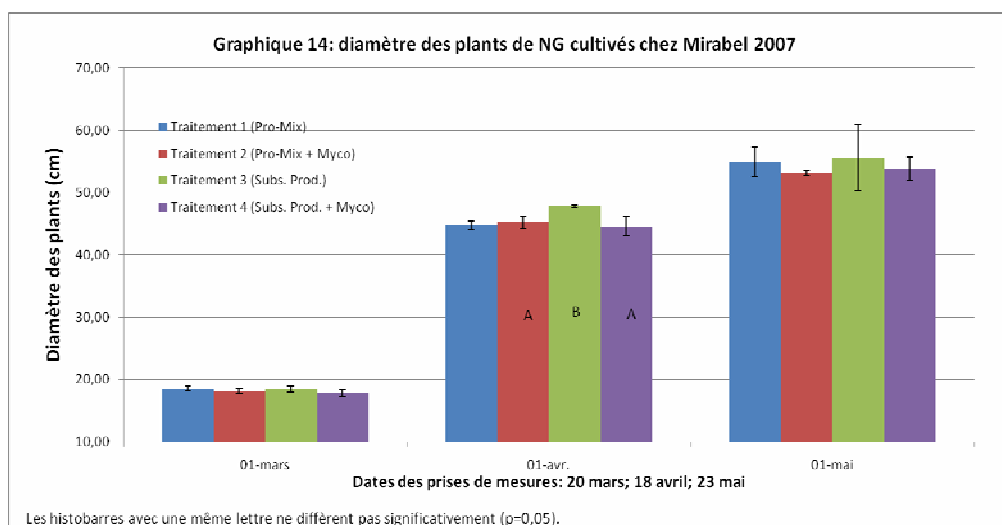
- **Hauteur des plants (graphique 13)**

Durant les 2 premiers mois de croissance, lors de la prise de données 1 et 2, il n'y a pas eu de différences significatives entre les différents traitements. Ce n'est qu'au troisième mois de croissance que la hauteur des plants s'est significativement démarquée pour les plants cultivés dans le terreau du producteur sans mycorhize (T3) en étant plus importante que les trois autres traitements.



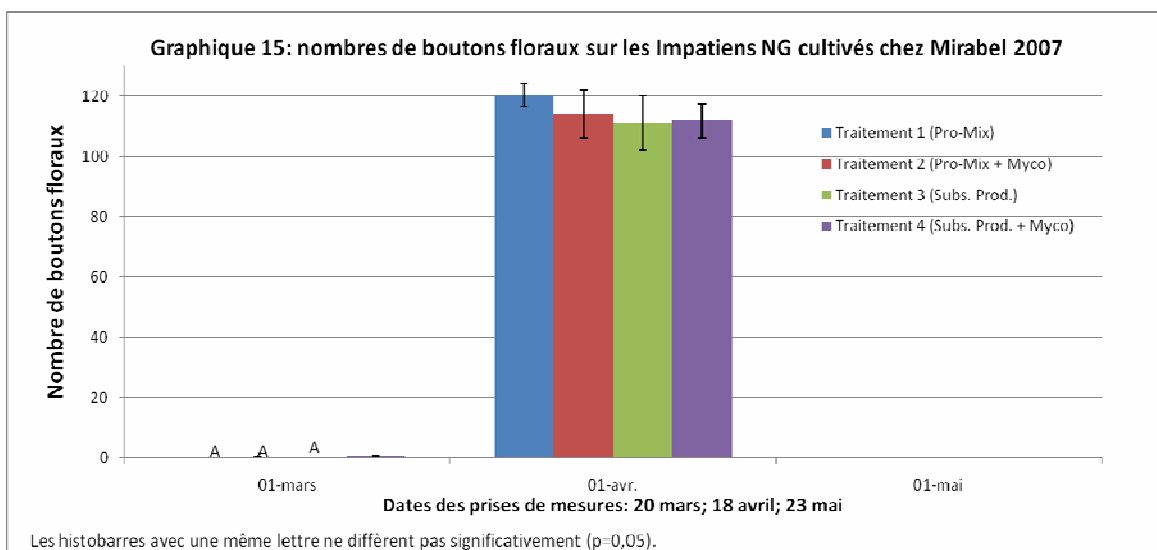
- **Diamètre des plants (graphique 14)**

Après 2 mois de croissance, le diamètre des plants du traitement T3 fut significativement plus grand que les 3 autres traitements. Les autres traitements ne variaient pas assez entre eux pour définir des différences. À la fin de la production, la différence significative du diamètre des plants du T3 s'est estompée pour ne plus obtenir de différence importante entre les traitements.



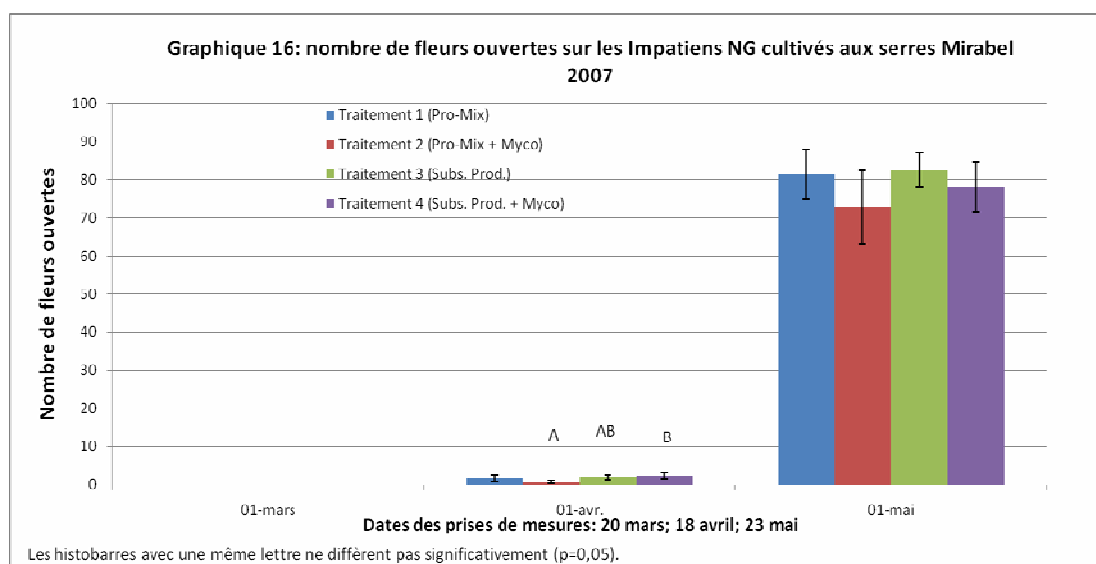
- **Nombre de boutons floraux (graphique 15)**

Une différence significative a été mesurée seulement au premier mois de croissance sur les plants cultivés dans le substrat du producteur inoculé de mycorhize (T4). La production de boutons floraux du traitement T4 a été significativement plus hâtive que les autres puisqu'à ce moment plusieurs plants n'avaient pas encore de boutons floraux.



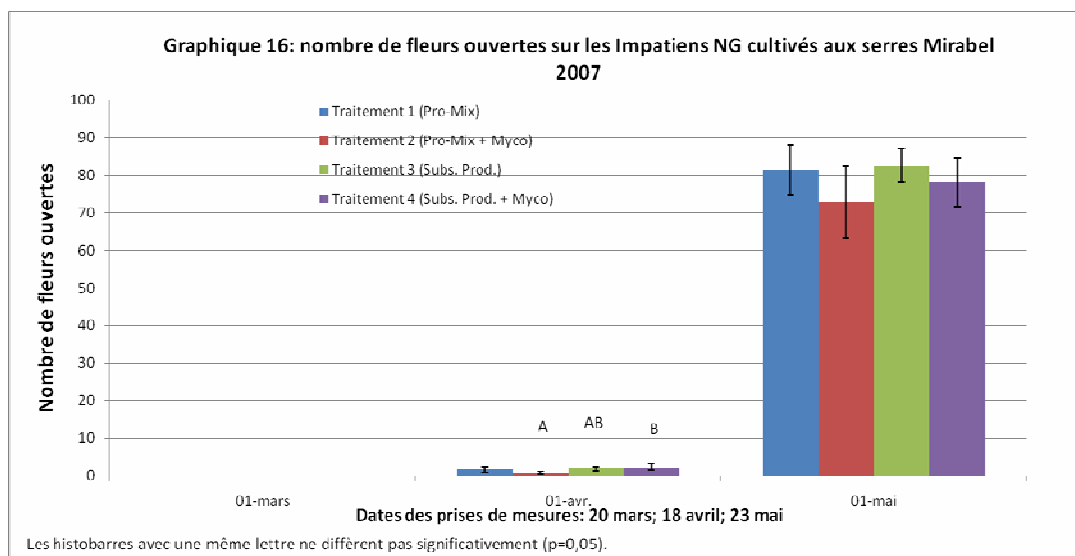
- **Nombre de fleurs (graphique 16)**

Aucune fleur n'était ouverte lors de la première prise de données. Cependant après 2 mois de croissance, la présence du plus grand nombre de fleurs ouvertes du traitement 4, (substrat du producteur avec l'ajout de champignons mycorhiziens) significativement différent du traitement 2, (*Pro-Mix* avec mycorhizes). À la fin de la production, tous les plants étaient remplis de fleurs sans avoir de différences importantes entre les différents traitements.



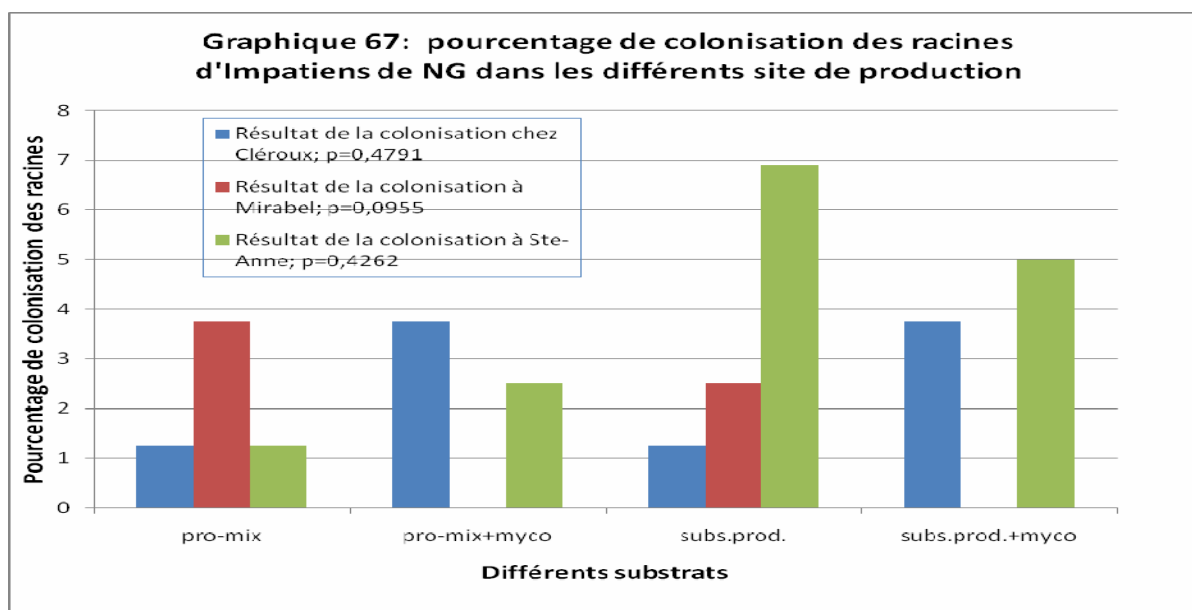
- **Teneur en chlorophylle** (graphique 17)

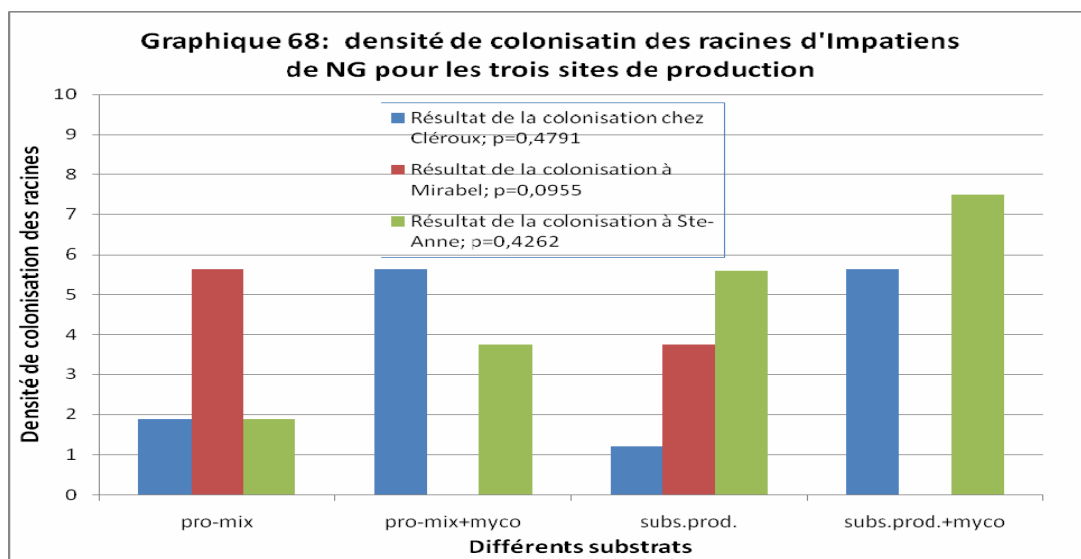
C'est seulement au premier et au troisième mois de croissance que la luminosité fut acceptable pour comparer les données du lecteur de chlorophylle. Le deuxième mois de croissance, la journée devait être partiellement ennuagée. C'est uniquement au premier mois de croissance que les différences furent significatives par la faible teneur de chlorophylle dans les plants cultivés dans le traitement T2. Les trois autres traitements étaient tous semblables.



- **Colonisation des racines**

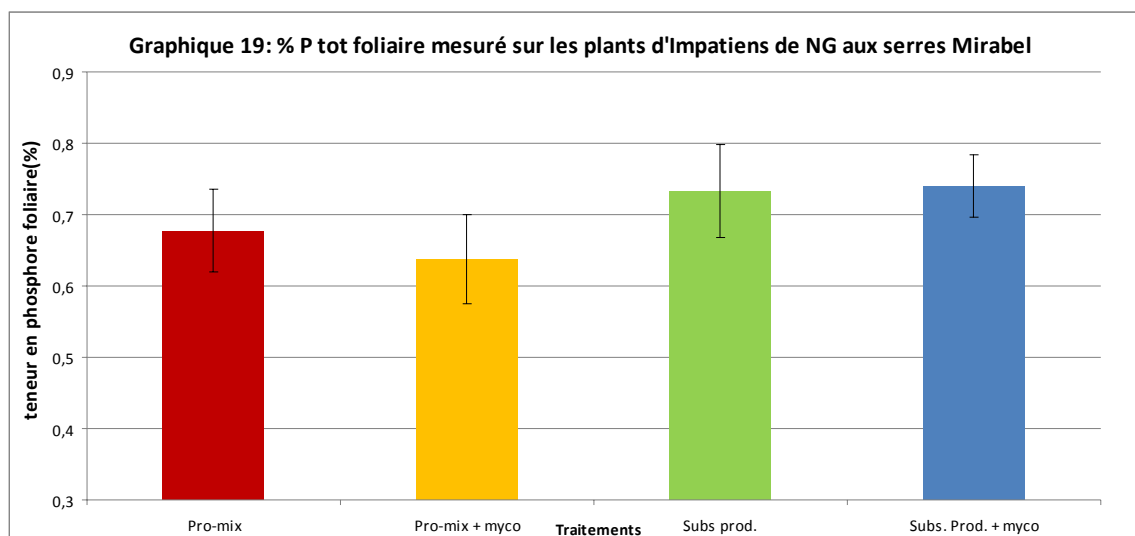
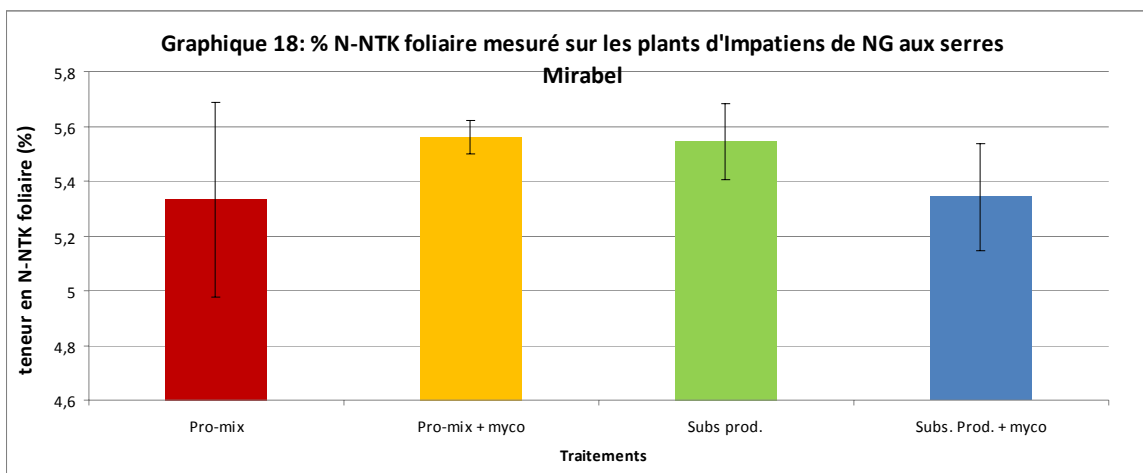
Aucune différence significative





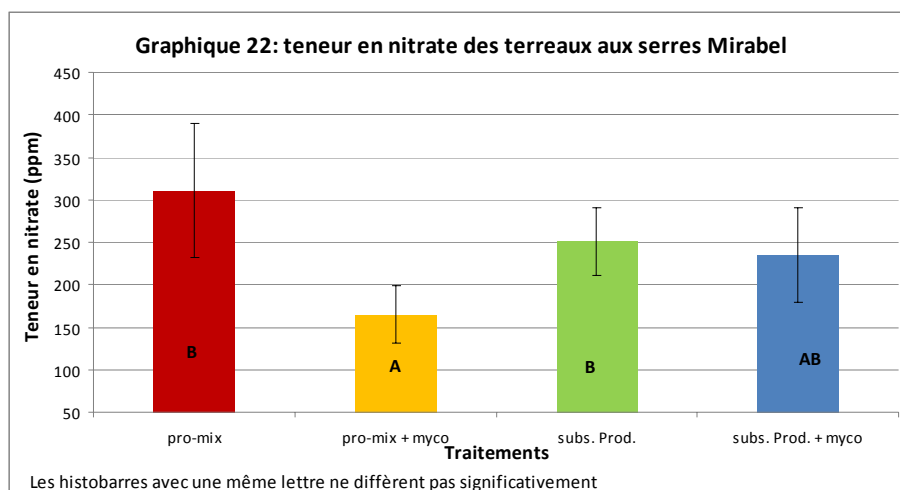
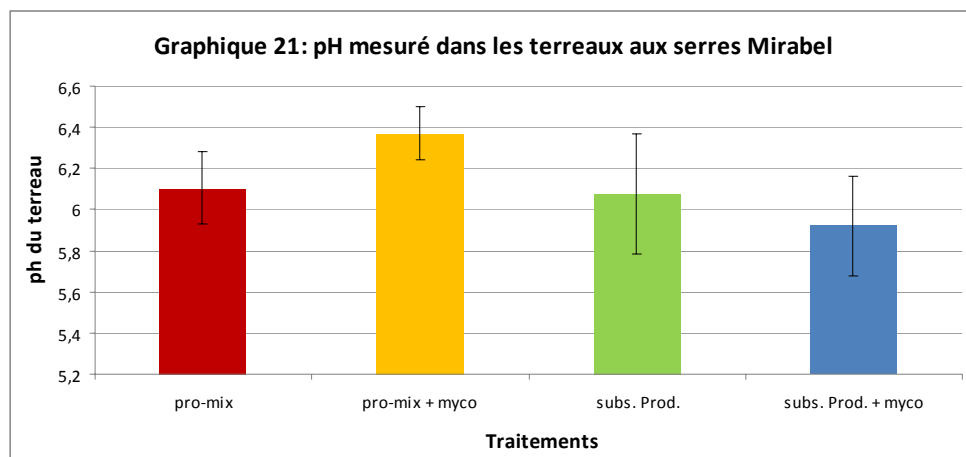
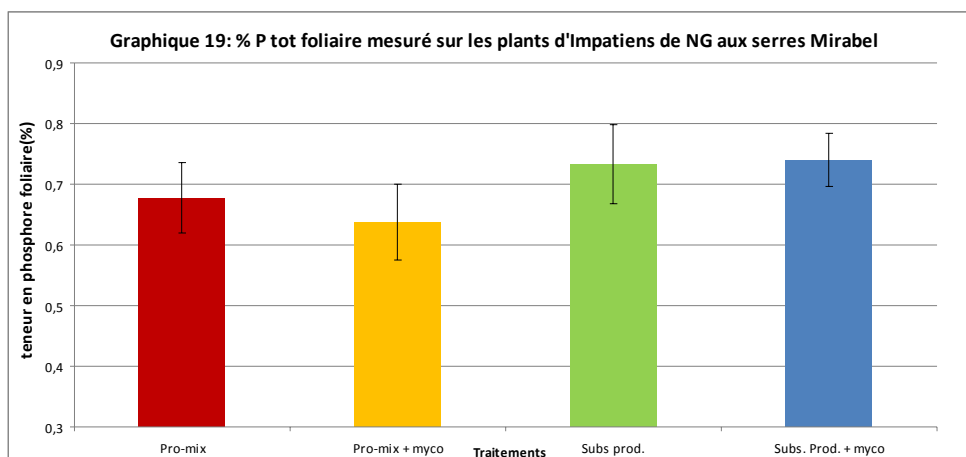
- **Analyse foliaire : %N-NTK et %P total (graphiques 18 et 19)**

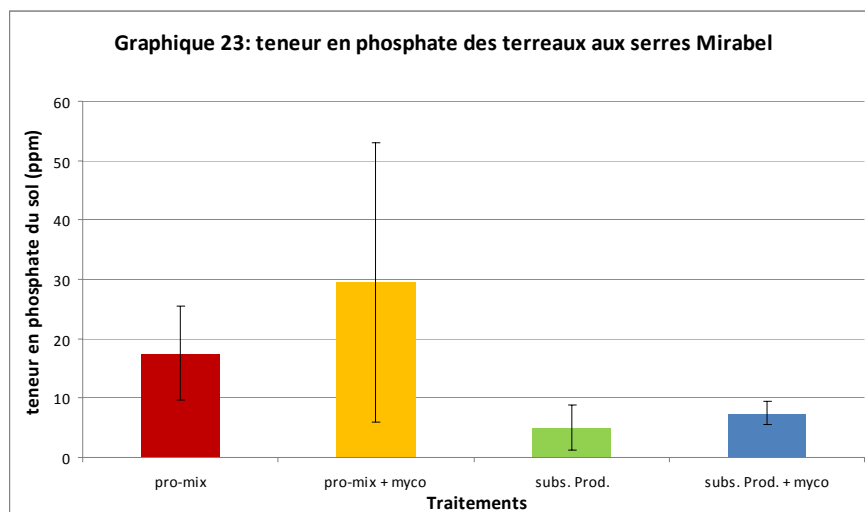
Aucune différence significative



- **Analyse de sol SME (nitrate, phosphate, pH, conductivité électrique)**
(graphiques 20, 21, 22 et 23)

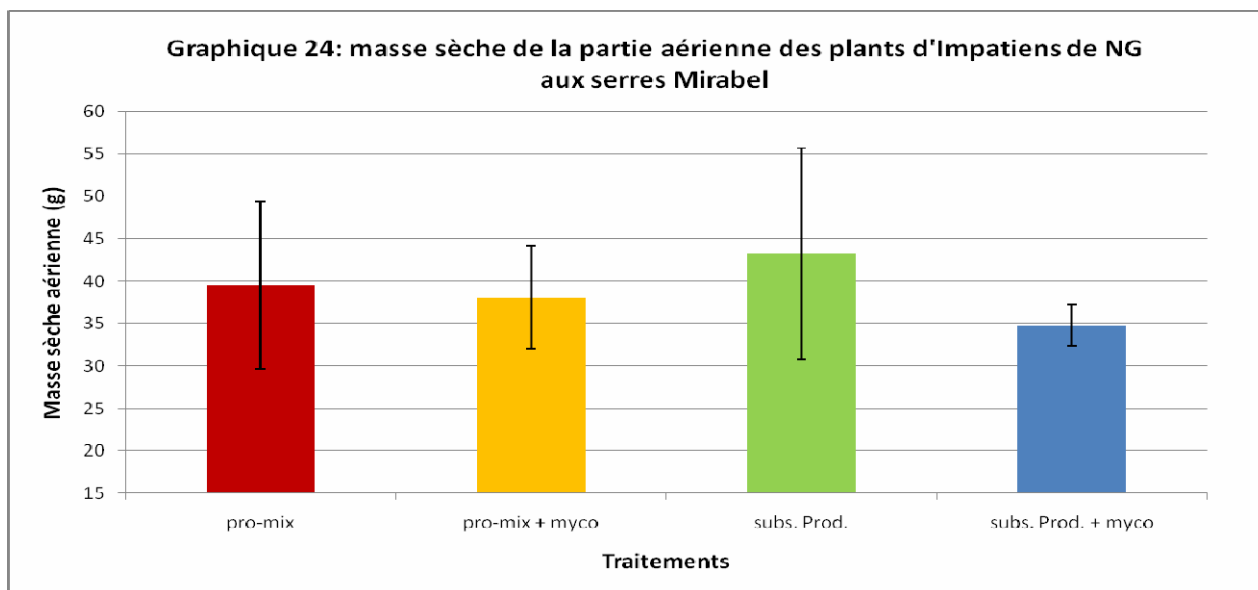
L'azote, sous forme de nitrates, était significativement plus élevée dans le *Pro-Mix* (T1) lorsqu'il est comparé au *Pro-Mix* avec mycorhize (T2) dans une proportion de deux pour un. Il n'y avait pas de différence dans les teneurs en nitrates dans le substrat du producteur avec ou sans mycorhize (T3 et T4).





- **Masse sèche de la partie aérienne (graphique 24)**

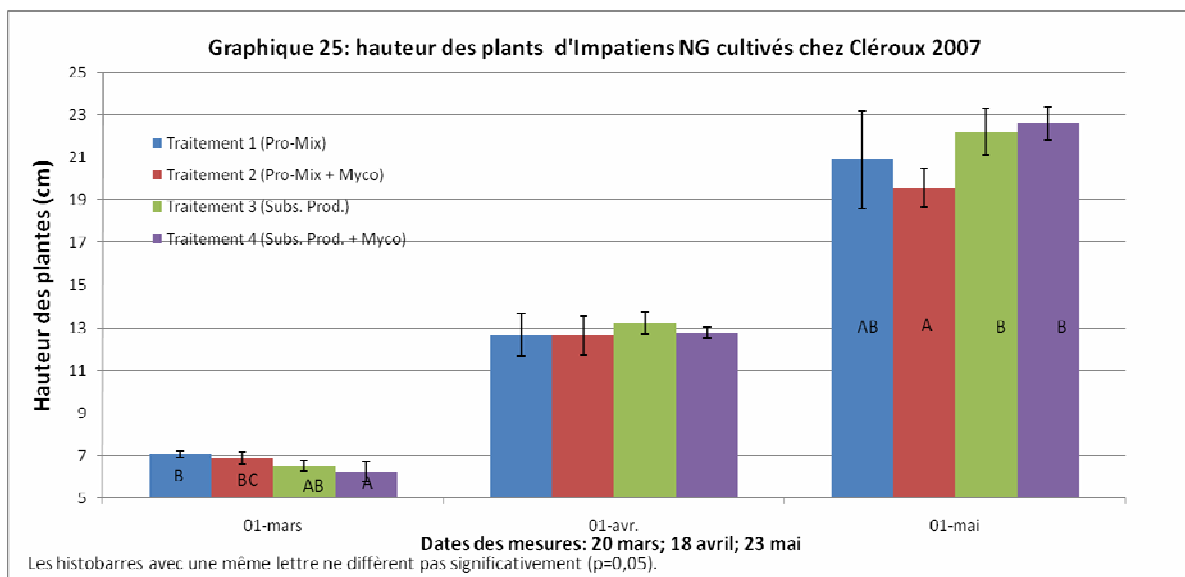
Il n'y a eu aucune différence significative de la masse sèche aérienne entre les traitements. Toutefois, les poids de la masse sèche aérienne des traitements T2 et T4 avec mycorhizes tendent à être plus faibles lorsqu'ils sont comparés avec le traitement ayant le substrat correspondant, mais sans mycorhizes. Ces différences ne sont cependant pas assez grandes pour dire que la présence de mycorhizes ait influencé la masse sèche des plants.



Les Serres Sylvain Cléroux

- **Hauteur des plants** (graphique 25)

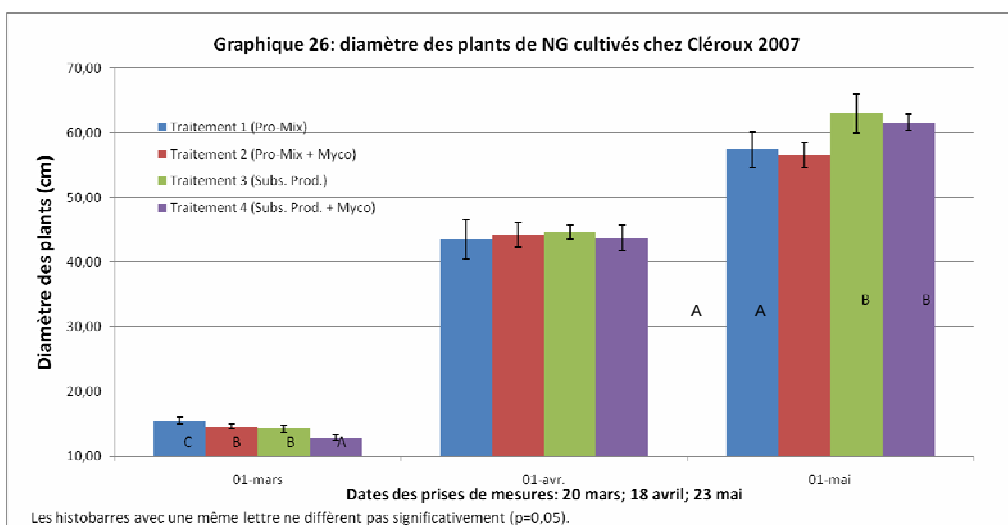
Lors de la première prise de données, un mois après la mise en place du dispositif, les plants cultivés dans le substrat du producteur avec mycorhize (T4) étaient significativement plus courts que les plants des trois autres traitements. Par contre, au deuxième mois de croissance, il n'y a plus aucune différence notable de la hauteur entre les traitements. Par la suite, la croissance du traitement T4 s'est accentuée puisqu'après le troisième mois de croissance, les plants cultivés dans le T4 ont obtenu la grandeur la plus importante des traitements, mais sans être significatif. À la troisième prise de données, ce sont seulement les plants du *Pro-Mix* avec mycorhize (T2) qui se sont démarqués du lot puisqu'ils étaient significativement plus courts que les plants cultivés dans le substrat du producteur avec ou sans mycorhize (T3 et T4). La hauteur des plants d'Impatiens n'a pas été influencée significativement par la présence de champignons mycorhiziens dans le substrat.



- **Diamètre des plants** (graphique 26)

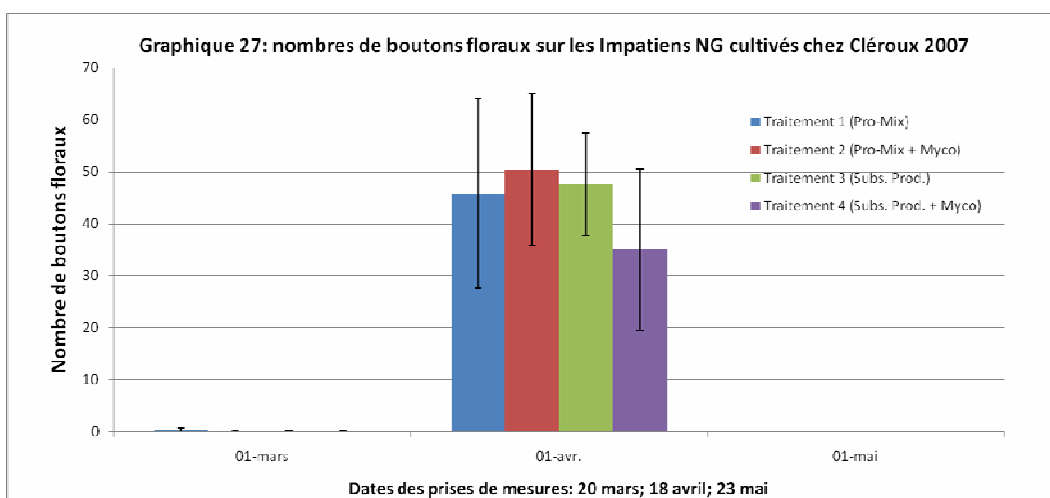
Au premier mois de croissance, pour les deux substrats, le diamètre était significativement plus petit pour les traitements avec mycorhizes comparativement au substrat sans mycorhizes, c'est-à-dire que T2 était plus petit que T1 et T4 était plus petit que T3 (graphique 26). Au deuxième mois de croissance, le diamètre des plants était en moyenne semblable dans tous les traitements et à la fin de la production, le diamètre des plants était significativement plus élevé chez les plants cultivés dans le substrat du producteur c'est-à-dire les traitements T3 et T4. Il

n'y a cependant pas eu de différence significative sur le diamètre des plants à cause de la présence des champignons mycorhiziens.



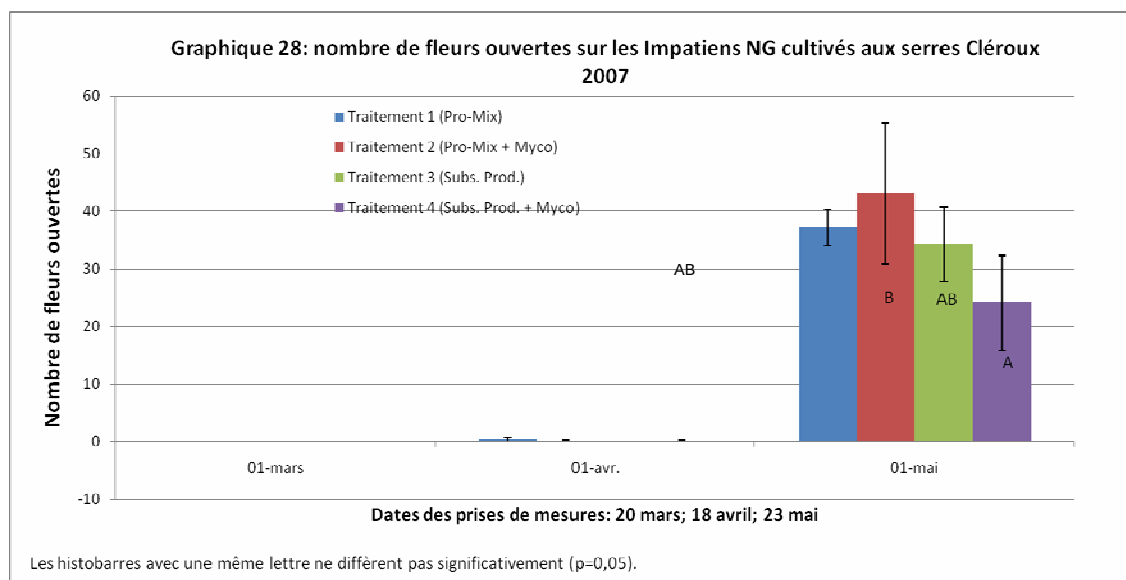
- **Nombre de boutons floraux** (graphique 27)

Aucune différence significative



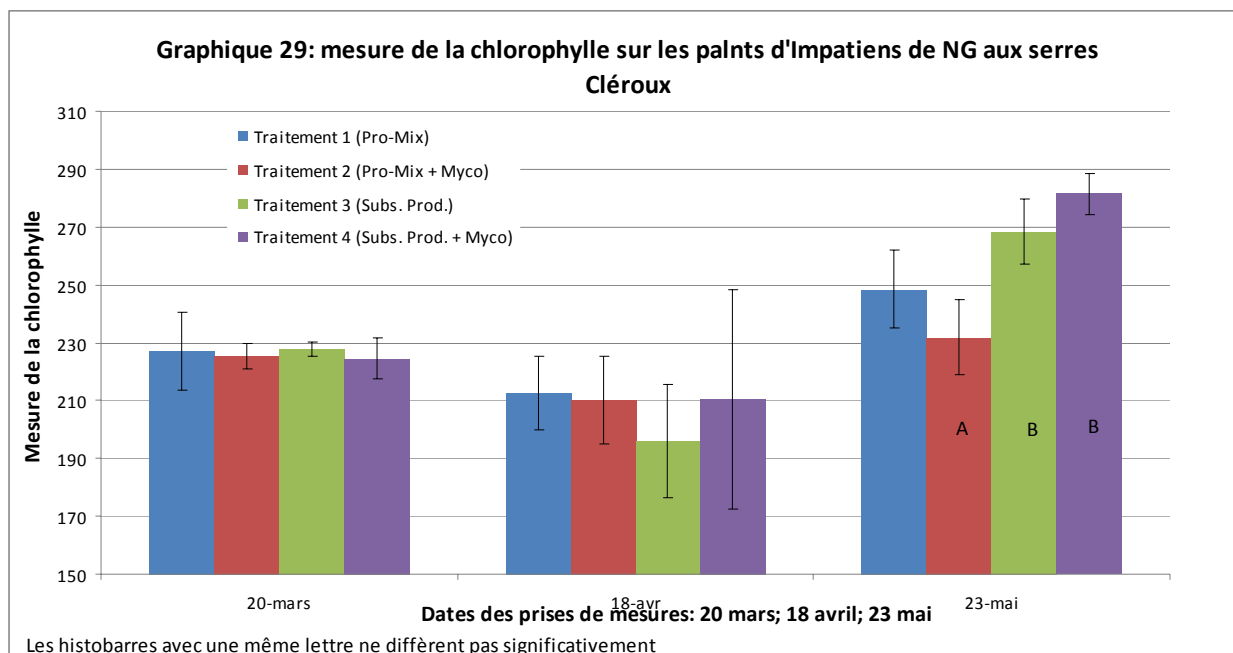
- **Nombre de fleurs** (graphique 28)

La présence des fleurs n'a été notable seulement qu'au troisième mois de croissance. À ce moment, le nombre le plus élevé de fleurs a été observé dans le *Pro-Mix* avec mycorhize (T2). Cependant, cette quantité de fleurs ouvertes était significativement différente seulement lorsqu'elle a été comparée au traitement T4 où le nombre de fleurs était le plus faible.



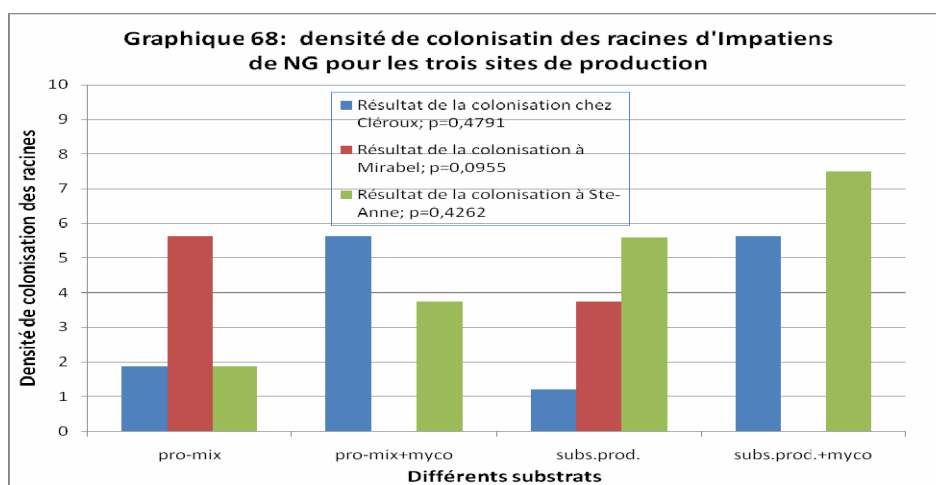
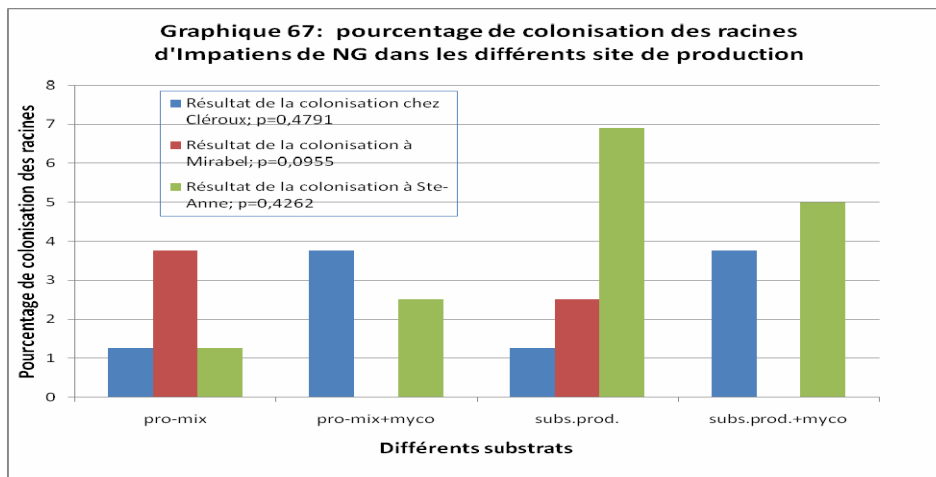
- **Teneur en chlorophylle** (graphique 29)

Les données du lecteur de chlorophylle ont été valables seulement au troisième mois de croissance puisque la luminosité fut acceptable seulement à cette journée. La teneur en chlorophylle était plus élevée pour les deux traitements cultivés dans le substrat du producteur (T3 et T4) comparativement aux deux traitements cultivés dans le *Pro-Mix* (T1 et T2)



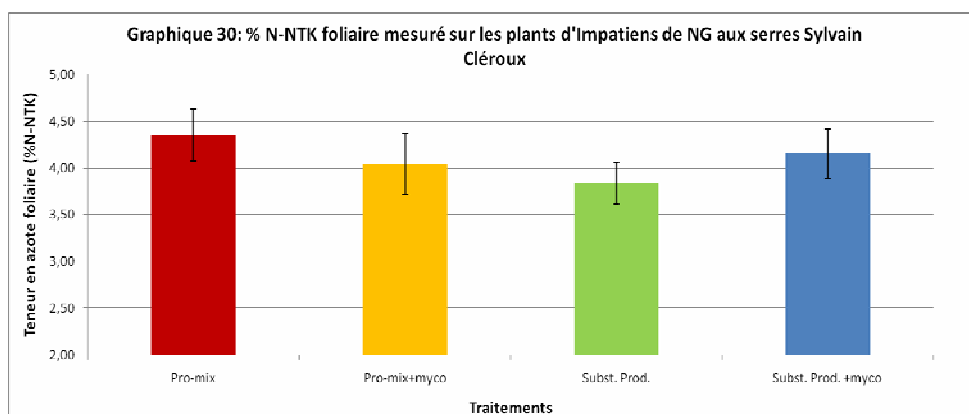
- **Colonisation des racines**

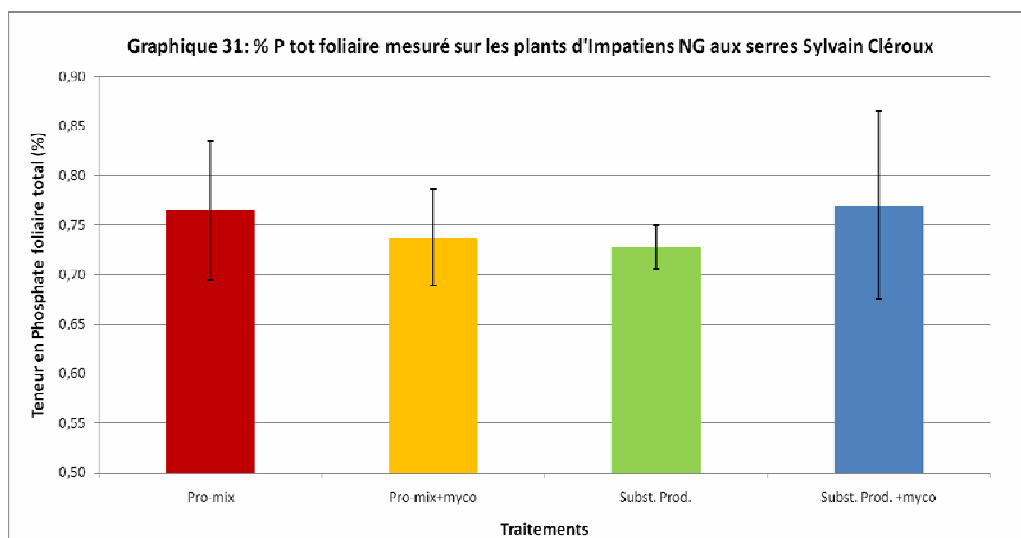
Aucune différence significative



- **Analyse foliaire : %N-NTK et % P total (graphiques 30 et 31)**

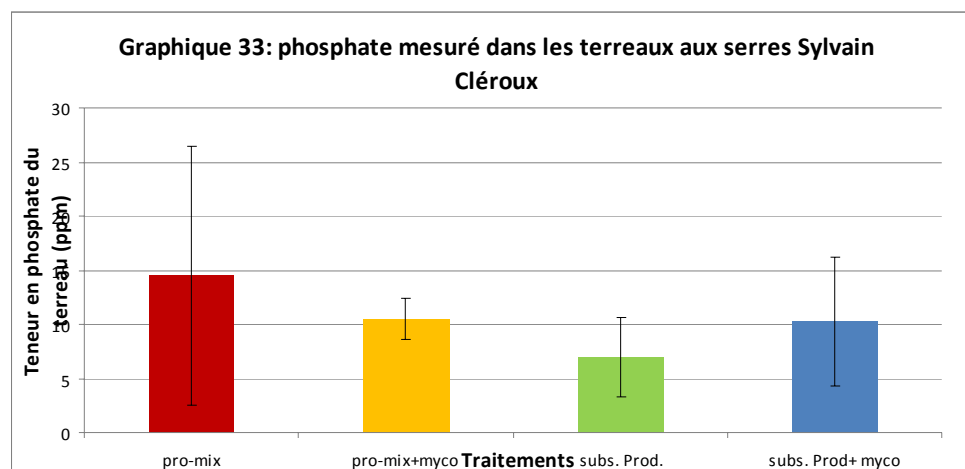
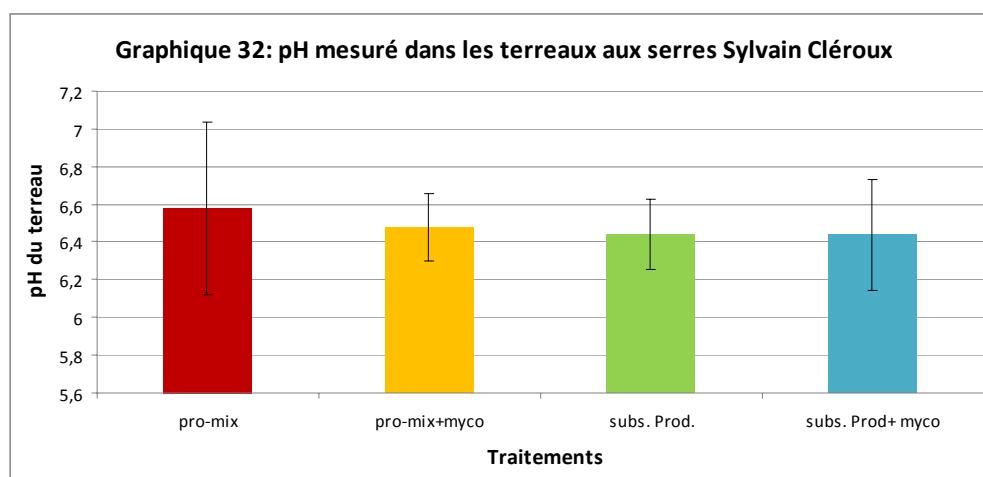
Aucune différence significative

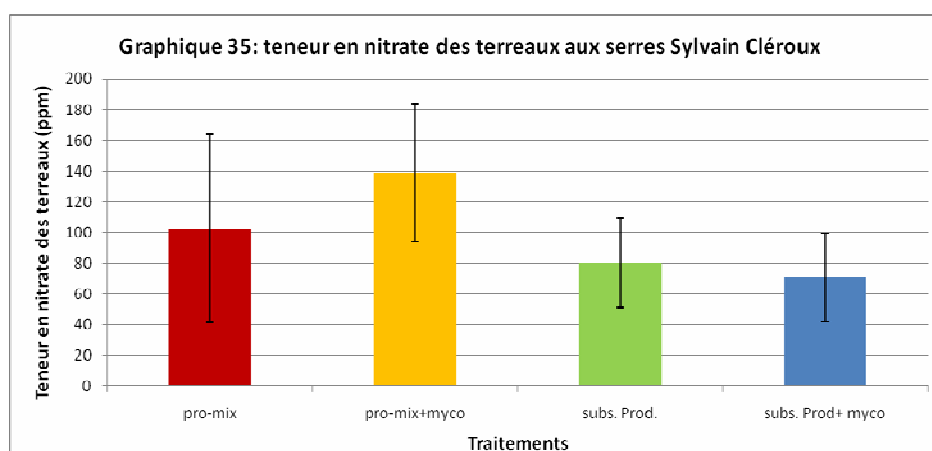
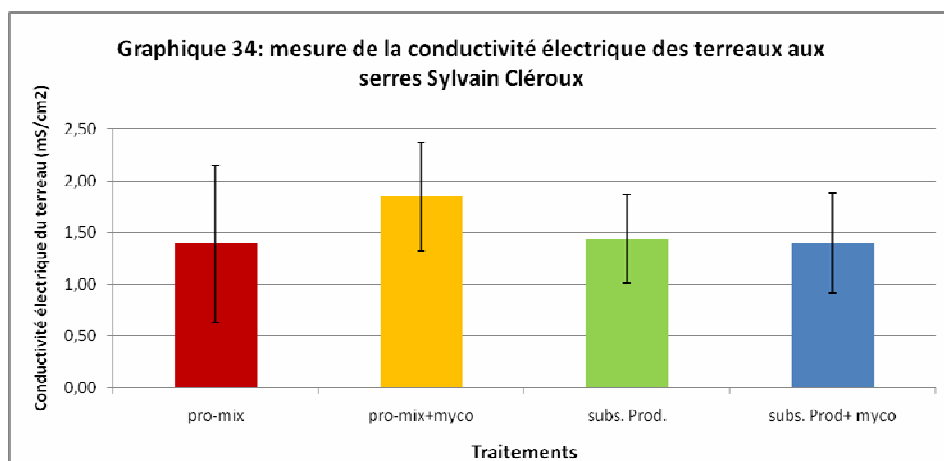




- **Analyse de sol SME (nitrate, phosphate, pH, conductivité électrique)**
(graphiques 32, 33, 34 et 35)

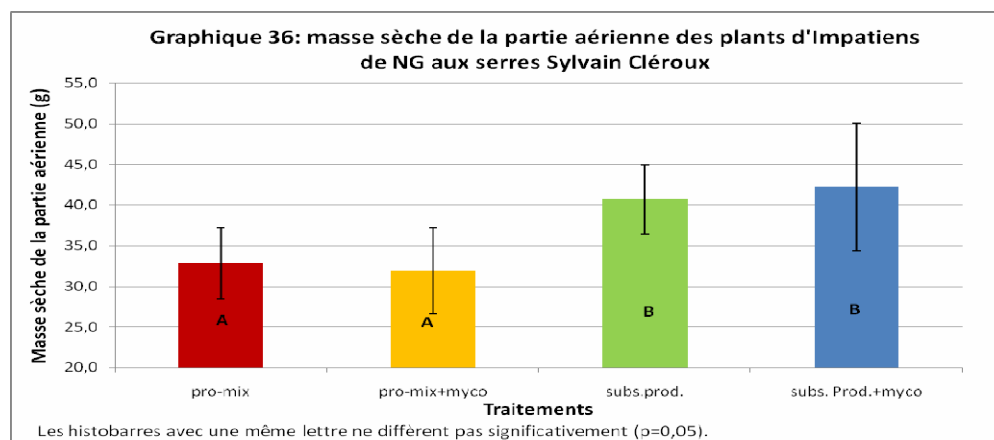
Aucune différence significative





- **Masse sèche de la partie aérienne (graphique 36)**

Les plants cultivés dans le substrat du producteur (T3 et T4) avaient une masse sèche, à la fin du cycle de production, significativement plus élevée que ceux cultivés dans les substrats à base de *Pro-Mix* (T1 et T2). Cependant, la présence de champignons mycorhiziens n'a pas affecté la masse sèche des parties aériennes des différents traitements (Graphique 36).



Discussion par site pour la partie en production

Les Serres Sainte-Anne

Les résultats obtenus aux serres Sainte-Anne démontrent qu'il y a des différences significatives sur la croissance des plants entre les différents traitements. Cependant, ces différences proviennent du type de substrat utilisé et non de la présence de champignons mycorhiziens. Par exemple, la hauteur des plants était significativement plus grande pour les 2 traitements composés de *Pro-Mix* (T1 et T2) comparativement aux plants des deux traitements cultivés dans le substrat qu'utilise le producteur (T3 et T4) (graphique 1). De plus, le niveau de chlorophylle dans les feuilles a varié de façon significative entre les traitements, c'est-à-dire que les plants cultivés dans le substrat utilisé par le producteur (T3 et T4) possédaient une teneur en chlorophylle supérieure aux plants cultivés dans le *Pro-Mix* (T1 et T2) (graphique 5). Les effets sur la hauteur et la chlorophylle proviennent du type de substrats puisqu'il n'y n'a pas eu de différence entre les traitements avec ou sans mycorhizes de même substrat, T1 comparativement à T2 et T3 avec T4.

L'analyse des substrats nous a permis de déceler certaines différences entre eux. Par exemple, on note que la conductivité électrique des substrats du producteur (T3 et T4) a été plus élevée et le pH plus faible que dans les substrats de *Pro-Mix* (T1 et T2) (graphiques 8 et 9). On peut croire ici que le substrat du producteur (T3 et T4) est plus acidifiant et qu'il retient les éléments minéraux en plus grande quantité que les deux *Pro-Mix* (T1 et T2). Les niveaux de phosphore dans le substrat et dans les feuilles des traitements composés de *Pro-Mix* seulement, T2 et T1, nous démontrent une tendance intéressante, mais la variation dans les traitements ne nous permet pas de dire que l'influence des traitements a été significative. Par exemple, la quantité de phosphore contenue dans les feuilles est plus importante dans les traitements contenus de *Pro-Mix* avec mycorhizes (T2) et la quantité de phosphore dans le substrat plus faible que le traitement T1, sans mycorhize (graphiques 7 et 10). Ce qui voudrait dire que les plants cultivés avec mycorhize, dans le *Pro-Mix* seulement (T2) aurait en été en mesure d'absorber une plus grande quantité de phosphore que les traitements sans champignons mycorhiziens. C'est en fait ce qui est rapporté dans la littérature puisque les mycorhizes peuvent permettre à la plante d'améliorer l'absorption des éléments minéraux. On ne peut cependant tirer de conclusion à ce sujet puisqu'il y a trop de variabilité entre les traitements et les différences ne sont pas significatives.

Les Serres Mirabel

Aux Serres Mirabel, les résultats obtenus ont démontré peu d'effets significatifs entre les différents traitements. Les plants du traitement T3 (substrat du producteur) se sont démarqués des autres traitements en ayant un plus grand diamètre après 2 mois de croissance et une plus grande hauteur après 3 mois de croissance comparativement aux 3 autres traitements (graphiques 13 et 14). Cependant, la croissance des plants du traitement T3 ne s'est pas illustrée dans aucune autre prise de données pour en conclure une meilleure performance de ce traitement. Le nombre de boutons floraux et de fleurs ouvertes nous démontre que le traitement T4 aurait eu une floraison plus précoce que les autres traitements (graphiques 15 et 16). Par contre, dans l'ensemble des données, le traitement T4 ne s'est pas non plus démarqué des autres traitements à part la floraison puisque plusieurs prises de données se sont avérées non significatives. Les traitements T3 et T4, ne peuvent être attribués à une performance quelconque reliée à la présence de champignons mycorhiziens puisque très peu de valeurs ont été significatives. D'un autre côté, il n'y avait pas de différences entre les traitements avec et sans mycorhizes dans le *Pro-Mix*.

L'analyse du substrat nous démontre qu'il n'y a pas de différence entre les substrats par rapport au pH, à la conductivité électrique et à la quantité de PO_4 comme nous avons observé aux Serres Sainte-Anne. Toutefois la quantité de nitrates dans le *Pro-Mix* sans mycorhizes (T1) est nettement supérieure aux autres traitements en particulier le *Pro-Mix* avec mycorhizes (T2) qui lui est très faible (graphique 22). Pourtant, le niveau de nitrates contenu dans les feuilles des plants du traitement T2 est supérieur au contenu foliaire en azote du traitement T1 (graphique 18). Cependant, le contenu foliaire en azote n'est pas assez différent dans les traitements de *Pro-Mix*, T1 et T2, pour être significatif. Cette remarque appuie la tendance qui s'est produite chez les plants des serres Sainte-Anne. Malgré ces différentes observations, il est très difficile de parler d'un phénomène véritable puisque la majorité des différences n'est pas significative et qu'il est très difficile d'établir des liens entre les résultats.

Les Serres Sylvain Cléroux

Les résultats obtenus aux serres Sylvain Cléroux démontrent qu'il y a eu quelques différences significatives, surtout au premier mois de croissance entre les traitements. Le diamètre des plants avec mycorhizes, T2 et T4, était plus petit que celui des traitements sans champignons mycorhizés (T1 et T3) (graphique 26). Selon la littérature, la formation de symbiose entre le champignon mycorhizien et la racine de la plante requiert un apport d'énergie de la plante qui peut expliquer généralement un retard de croissance des plants au début de la mycorhization. À la fin de la production, aucune différence n'apparaissait entre les traitements sur le diamètre des plants. La hauteur des plants du traitement T4 a évolué de façon intéressante (graphique 25). Les plants du traitement T4 au premier mois de croissance étaient significativement plus courts que les autres traitements. Au deuxième mois de croissance, il n'y avait plus de différences entre les traitements et à la fin de production, les plants du traitement T4 (terreau du producteur avec mycorhize) semblaient être les plus grands. On peut donc dire que c'est le traitement T4 qui a évolué de façon croissante, mais il est difficile d'attribuer ces résultats à la présence de champignons mycorhiziens. D'un autre côté, le traitement T4 a obtenu la plus faible floraison (graphique 28). La floraison la plus abondante s'est retrouvée dans le traitement avec mycorhize T2. Les deux traitements avec la présence de champignons mycorhiziens T2 et T4 ne se comportent pas du tout de la même façon, il y a probablement une influence importante à considérer par rapport au type de substrat.

Aux serres Cléroux, l'analyse des substrats n'a donné aucune différence significative entre les substrats sur le pH, la conductivité électrique et les contenus en éléments minéraux étudiés. La masse sèche aérienne des plants est significativement plus grande pour les plants cultivés dans le substrat du producteur (T3 et T4) comparativement aux plants cultivés dans les substrats à base de *Pro-Mix* (T1 et T2) (graphique 36). Ces résultats ne peuvent qu'être attribués aux différents substrats et non à la présence de champignons mycorhiziens. Encore une fois, aucun traitement ne s'est démarqué pour attribuer une performance intéressante pour le producteur.

Discussion globale pour la partie en production

Après avoir discuté des sites de production individuellement, voici quelques éléments communs pour chaque site qui doivent être discutés de façon globale. Pour les trois producteurs, lorsque les traitements du même substrat, c'est-à-dire avec ou sans mycorhizes, sont comparés entre eux (T1 avec T2 et T3 avec T4), aucune différence évidente n'existe entre les traitements pour la partie production de notre projet. **Il n'y a donc pas de différences significatives chez les trois producteurs reliées à la présence de champignons mycorhiziens dans le substrat.**

Pour expliquer ce phénomène, nous allons nous attarder à la colonisation des racines des plants à l'étude. L'analyse des racines pour la colonisation demandait une destruction complète du plant, nous avons donc choisi d'envoyer au laboratoire une proportion de 8 paniers par traitement sur une possibilité de 20 paniers. La colonisation des plants analysés pour les traitements T2 et T4 (avec mycorhizes) s'est avérée faible chez tous les producteurs (graphiques 67 et 68). Le plus haut taux de plants colonisés a été observé aux Serres Sainte-Anne avec 50 % des plants colonisés, c'est-à-dire, 4 paniers sur les 8 analysés. Le plus faible taux a été retrouvé aux serres Mirabel avec aucune colonisation des plants des traitements T2 et T4. Ensuite, pour les 3 producteurs, bien que ce soit des traitements sans mycorhize, certains plants des traitements T1 et T3 ont été colonisés par des mycorhizes. Peut-être que la colonisation de ces paniers aurait pu provenir d'une contamination lors de l'installation des dispositifs. Cependant, ceci est très peu probable à cause des nombreuses précautions prises. L'utilisation d'un substrat ayant une présence naturelle de champignons mycorhiziens dans les substrats utilisés par le producteur pourrait aussi être une source de contamination des traitements T1 et T3. Par exemple, certains composts pourraient posséder des spores de champignons mycorhiziens. La colonisation des traitements de *Pro-Mix* sans champignons mycorhiziens pourraient être due à une contamination du substrat par des champignons mycorhiziens à l'usine de fabrication ce qui ne semble pas être réellement possible selon le fabricant du produit. Plusieurs hypothèses peuvent expliquer le fait que l'on retrouve des champignons mycorhiziens sans être sûr de quelle source ils proviennent.

Ensuite, une faible colonisation des traitements T2 et T4 peut être reliée aux conditions favorables de serres dans lesquelles les plants étaient cultivés. Comme il a été mentionné dans la revue de littérature, la fertilisation et l'arrosage adéquat comme ceux utilisés par les producteurs en serres sont des facteurs qui ne favorisent pas nécessairement le développement des champignons mycorhiziens. Les mycorhizes sont principalement profitables lorsque les conditions ne sont pas favorables pour la croissance de la plante.

La qualité du produit utilisé pour mycorhizer les paniers aurait pu influencer la faible quantité de colonisation. Le produit PS3 contenait une date de péremption datant de octobre 2006. Pour savoir s'il était viable ou non, nous avons fait faire par PremierTech Biotechnologies des tests d'infectivité, la poudre PS3 et le substrat *Pro-Mix* BX avec mycorhizes. Pour le substrat, les résultats du test d'infectivité (F-15) fait par PremierTech Biotechnologies n'ont pas été extrêmement hauts, mais ils ont été jugés acceptables puisque les plantes étaient en culture avec les champignons mycorhiziens sur une longue période de temps. Voici l'Interprétation des résultats de la part du laboratoire: *La présence de structure typique du champignon endomycorhizien à l'intérieur des racines confirme que l'inoculant est actif dans le substrat. Le niveau de colonisation et la quantité de plantes mycorhizées sont des facteurs qui varient d'un essai infectivité à l'autre.* Pour la poudre PS3, les spores de champignons mycorhiziens ont été classifiées viables. Les produits étaient donc viables, mais peut-être de qualité moindre ce qui peut expliquer une faible colonisation.

L'échantillonnage des mottes de racines pourrait aussi avoir influencé les résultats de colonisation obtenus puisque sur un panier de 12", 3 mottes de 6 cm par 6 cm qui ont été prélevées. Il pourrait donc y avoir faible colonisation sans nécessairement être relevée par l'analyse des échantillons prélevés.

Avec les résultats de colonisation faible dans les traitements avec mycorhizes (T2 et T4) et avec la présence de colonisation dans les traitements sans champignons mycorhiziens (T1 et T3), il est très difficile d'attribuer les quelques différences significatives et les tendances entre les traitements à la présence de champignons mycorhiziens dans le substrat. D'un autre côté, une faible colonisation pourrait expliquer pourquoi les résultats obtenus ne sont pas reliés à la présence de champignons mycorhiziens dans le substrat.

Pour aller plus loin dans notre discussion, dans le traitement T2 et T4, nous avons pris les paniers qui ont été positifs au test de colonisation. Nous avons suivi l'évolution de ces paniers colonisés à travers les prises de données pour déterminer si ces plants ont tendance à être différents de la moyenne. Ainsi, nous aurions pu voir si les plants mycorhizés étaient plus performants que les autres plants du même traitement. Les résultats se sont avérés négatifs, aucune différence n'est ressortie de cet exercice.

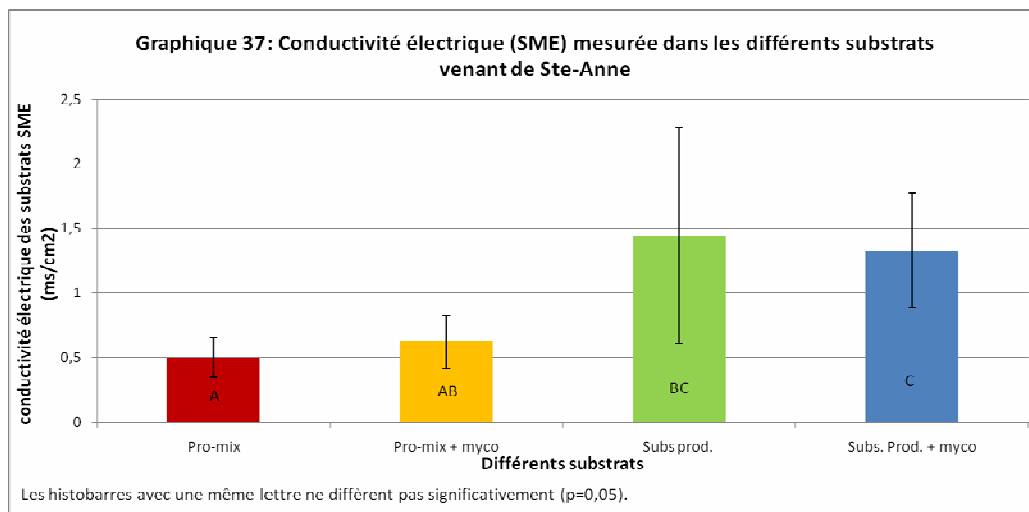
Les résultats pour la partie à l'extérieur (ITA)

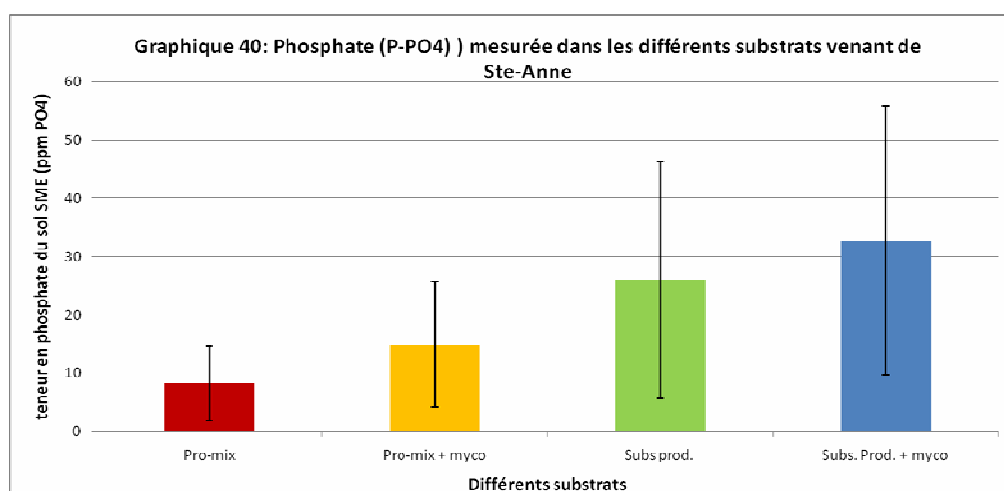
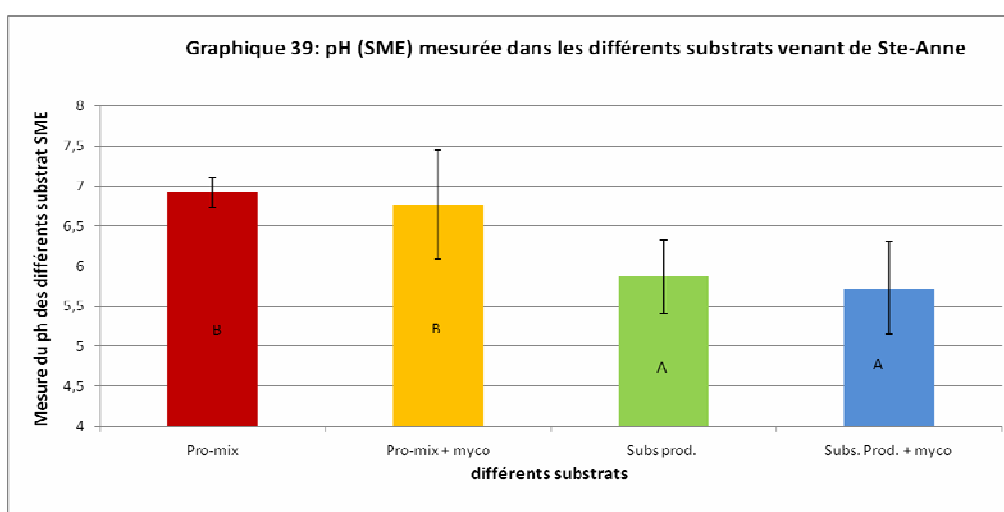
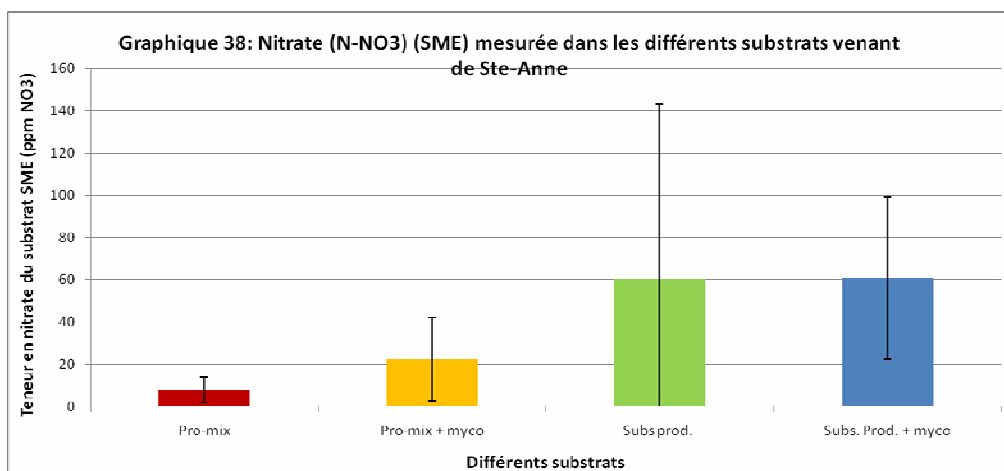
Les Serres Sainte-Anne

(Les traitements T1 et T2 acheminés à l'ITA proviennent seulement des serres Sainte-Anne)

- **Analyse de sol SME (nitrate, phosphate, pH, conductivité électrique)**
(graphiques 38, 39, 40 et 41)

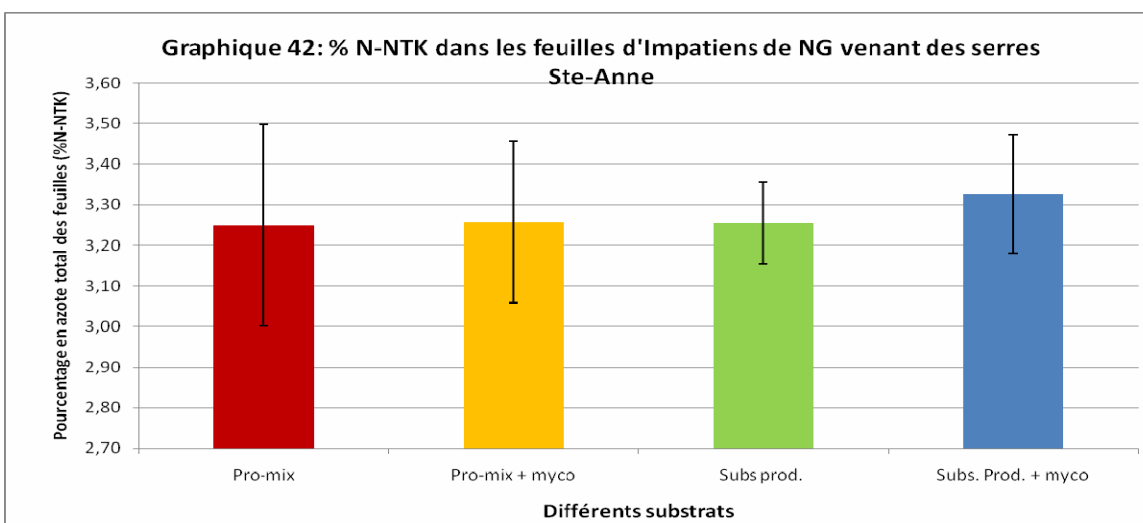
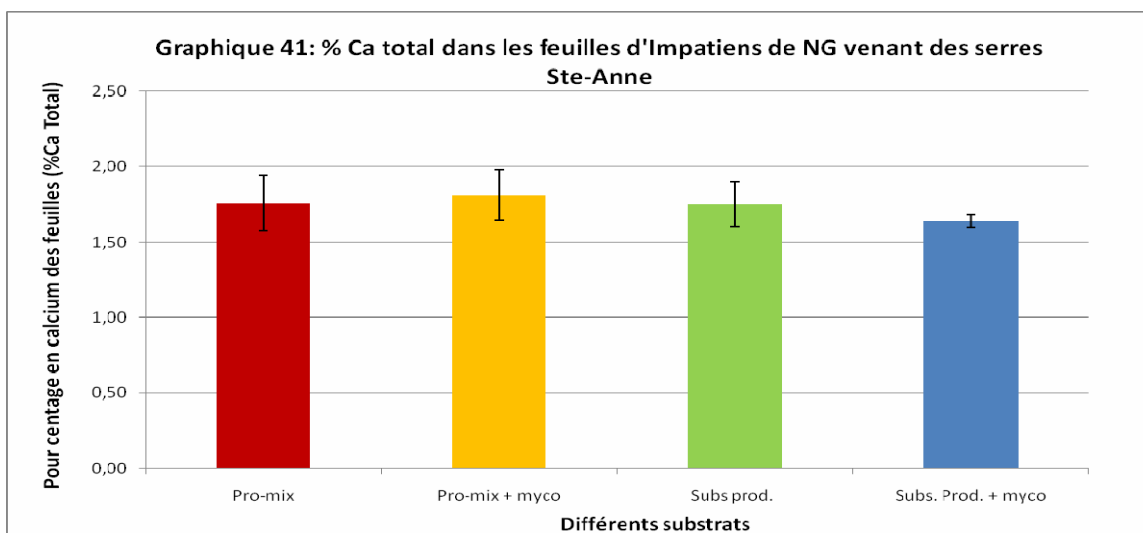
Les résultats obtenus lors de l'analyse SME des échantillons de sol à la fin de l'été démontrent des effets significatifs entre les substrats lorsque les conductivités électriques et le pH de chacun des traitements sont comparés entre eux. Premièrement, la conductivité électrique des traitements composés de *Pro-Mix* T1 et T2 est plus faible de moitié, comparativement aux traitements composés du substrat du producteur T3 et T4. Deuxièmement, le pH dans les deux traitements à base de *Pro-Mix* est nettement supérieur (T1, et T2) aux pH des traitements (T3 et T4) avec le substrat du producteur. Lorsqu'on se réfère au graphique démontrant la teneur des phosphates et des nitrates dans le substrat des différents traitements, on note une tendance selon laquelle les substrats du producteur semblent tenir plus de phosphates et de nitrates que les substrats composés de *Pro-Mix*. Cependant, ces variations ne sont pas statistiquement valables pour tirer une conclusion de ces résultats. La présence des mycorhizes dans les substrats ne semble pas avoir influencé ces différentes données.

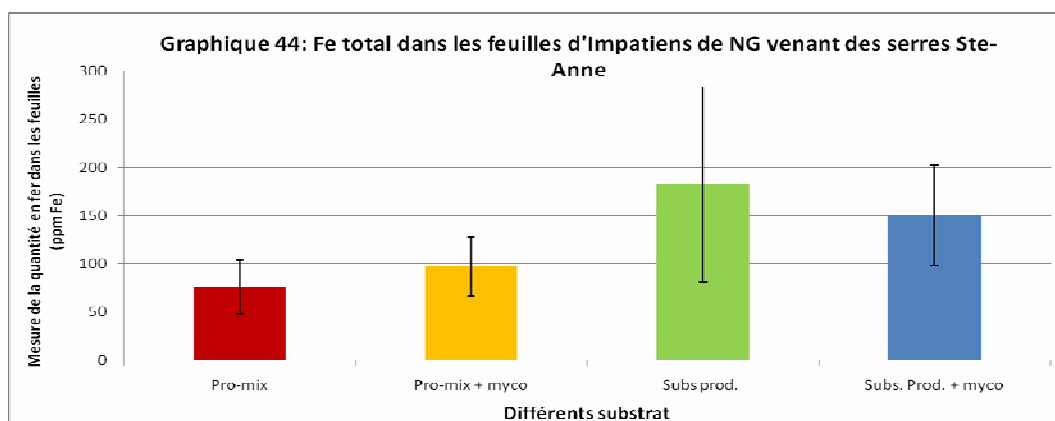
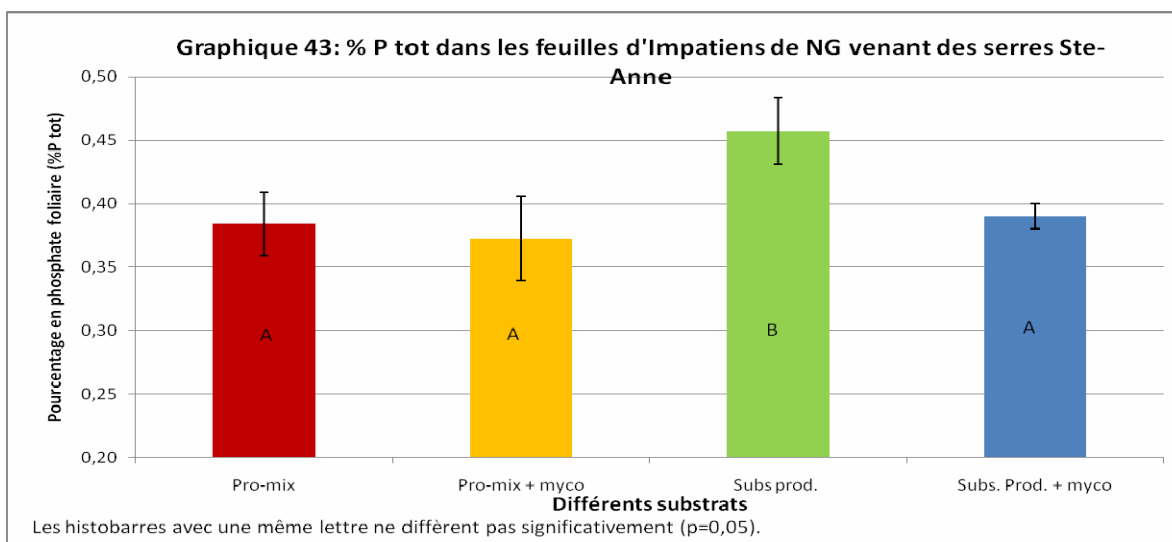




- **Analyse foliaire : Fe, PO₄, Ca et NO₃** (graphiques 41, 42, 43 et 44)

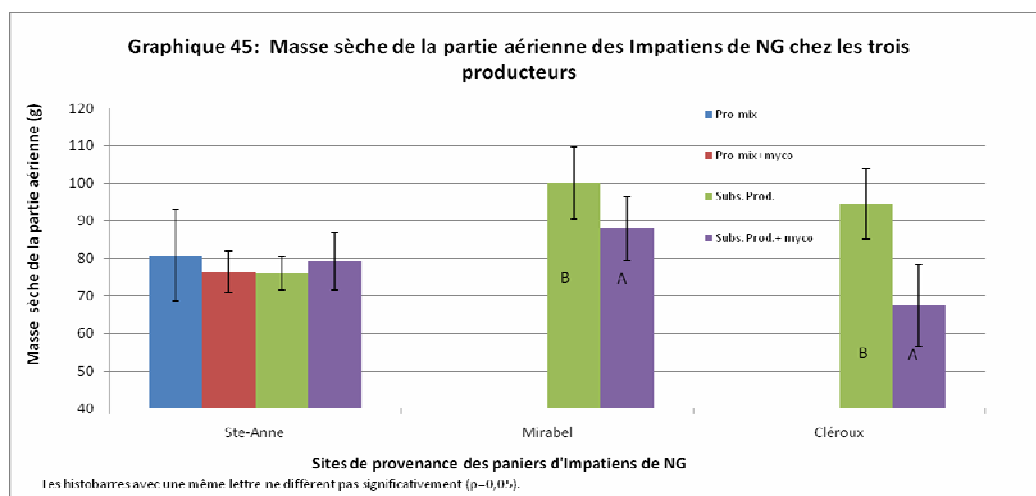
Un seul traitement s'est significativement démarqué du lot avec l'analyse foliaire de l'élément PO₄. Les feuilles des plants cultivés dans le substrat utilisé par le producteur sans mycorhize (T3) possèdent une teneur en phosphore plus élevée que les trois autres traitements. Pour les autres éléments, Fe, Ca et N la teneur dans les feuilles pour les différents substrats utilisés n'a pas varié significativement.





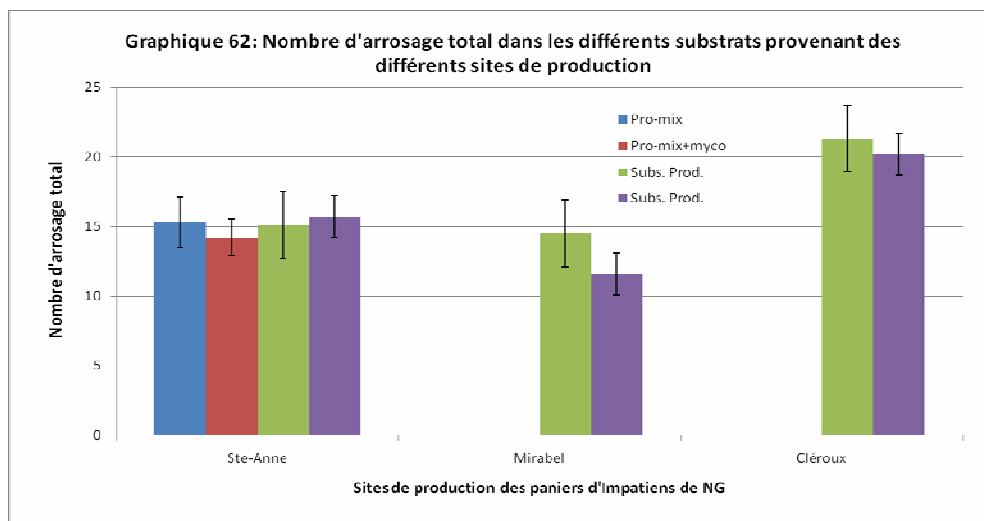
- Masse sèche de la partie aérienne (graphique 45)**

Aucune différence significative



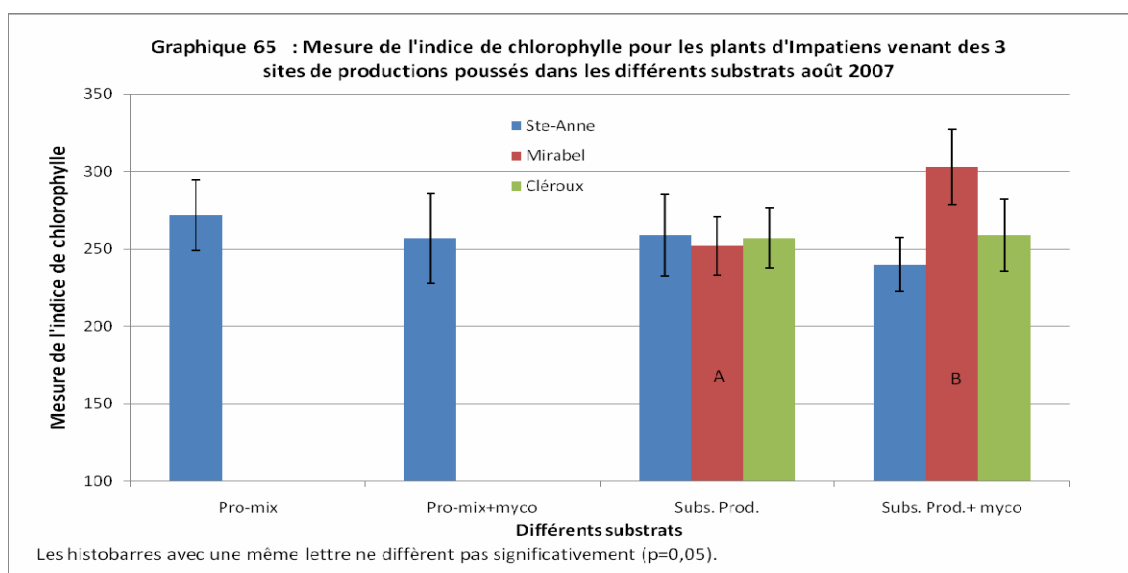
- **Nombre d'irrigations (graphique 62)**

Aucune différence significative.



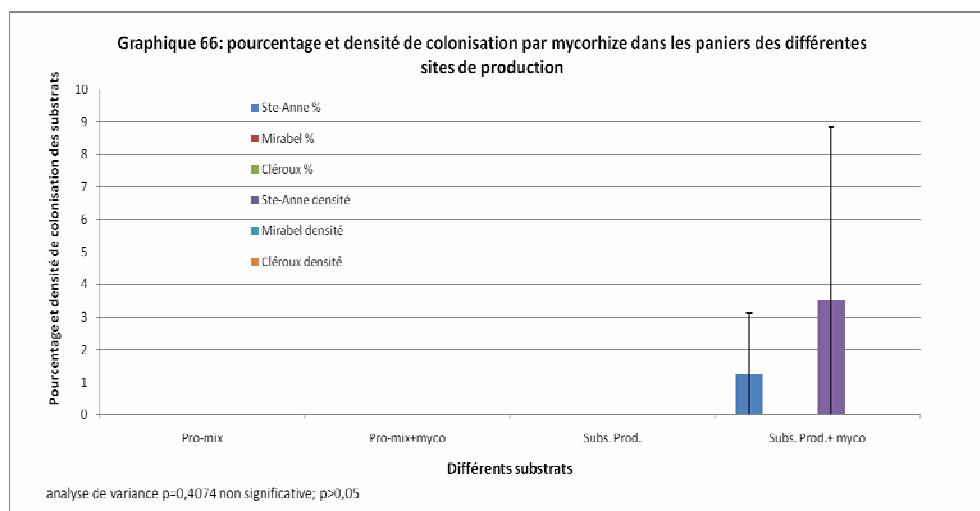
- **La teneur en chlorophylle (graphique 65)**

Aucune différence significative.



- **Colonisation des racines (graphique 66)**

Sur les 32 paniers envoyés au laboratoire d'analyses, un seul est ressorti positif dans le traitement T4. Pour tous les autres paniers, aucune colonisation n'a été décelée.



- **Dépistage des plants**

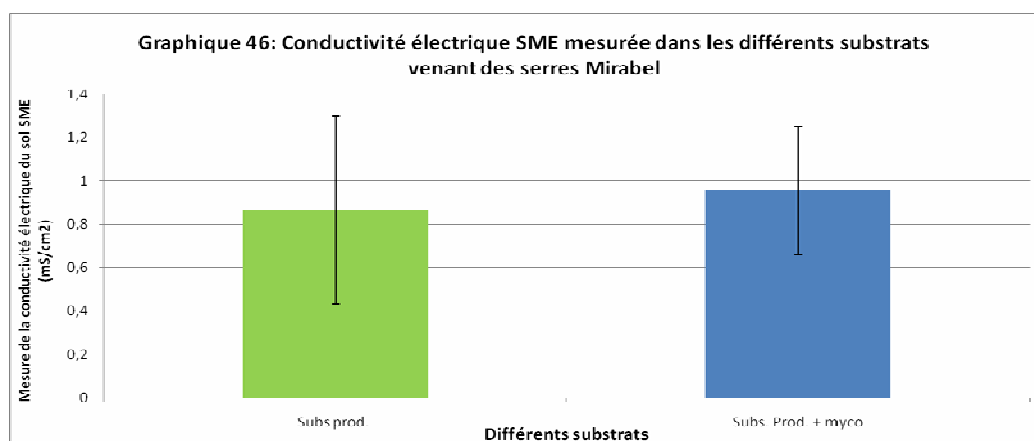
Aucune donnée statistique n'a été faite sur le dépistage des plants puisqu'il y a eu absence de maladie sur les plants. Cependant, le dépistage nous a permis de déceler la présence de tétranyques, mais aucune conclusion n'a pu être tirée puisque tous les traitements étaient infestés dans des proportions semblables.

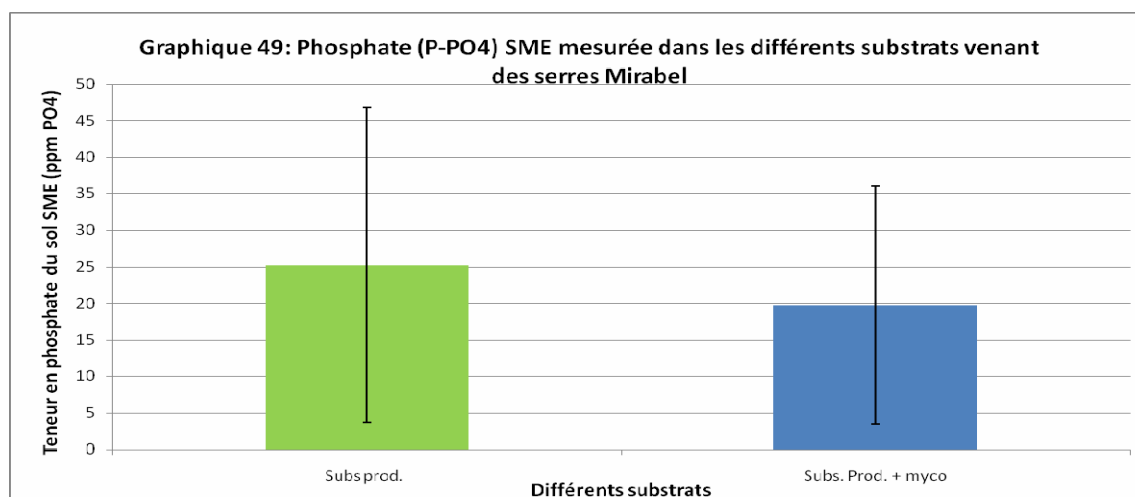
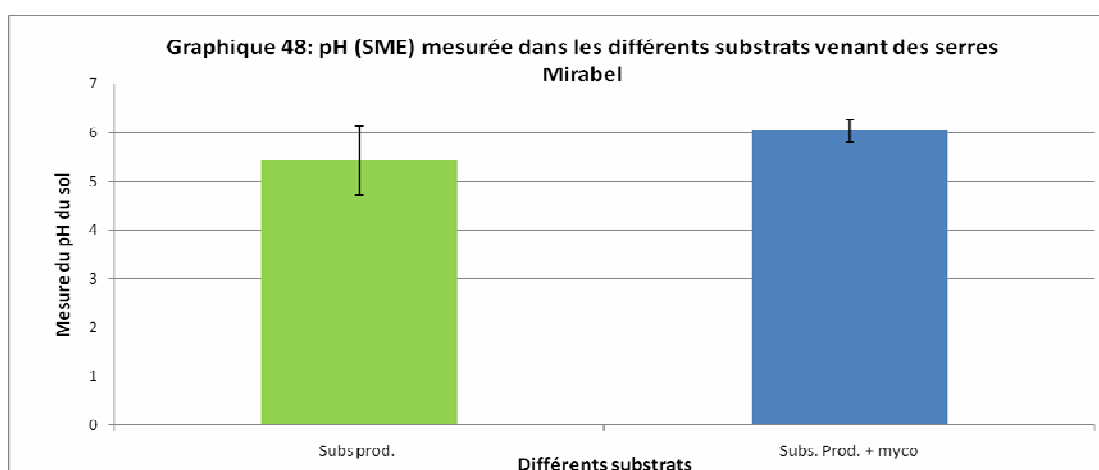
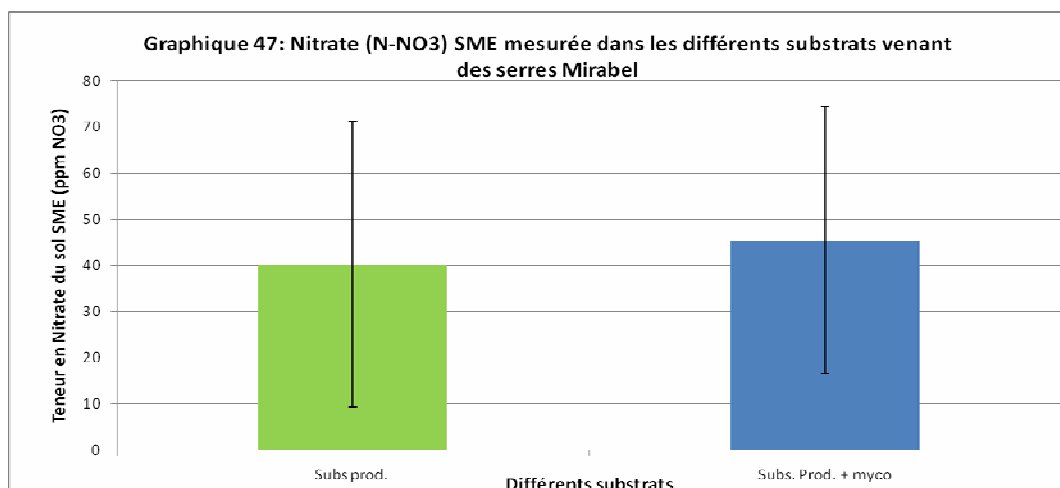
Les Serres Mirabel

(Seulement les traitements avec le substrat du producteur T3 et T4)

- **Analyse de sol SME (nitrate, phosphate, pH, conductivité électrique (graphiques 46, 47, 48 et 49)**

Aucune différence significative

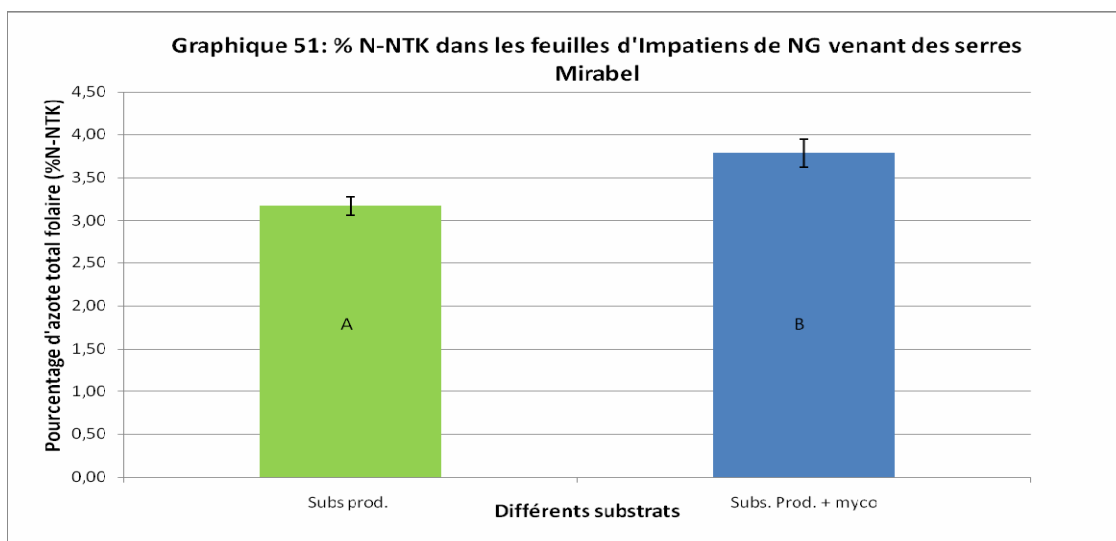
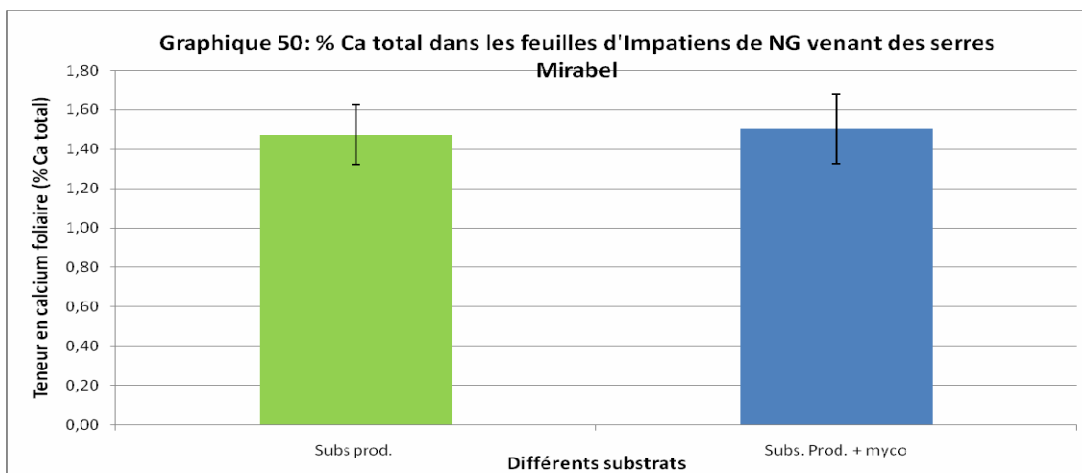


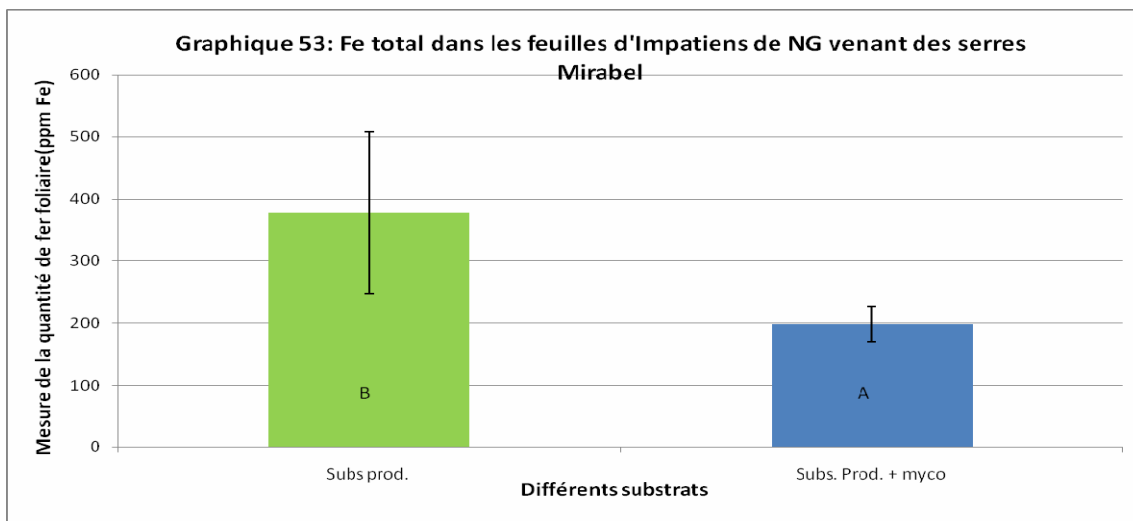
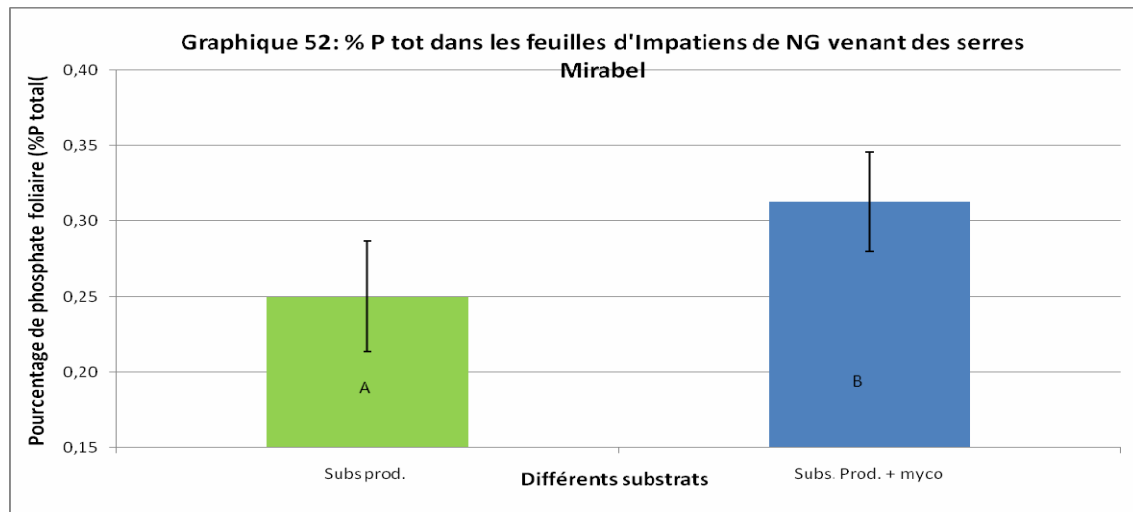


- Analyse foliaire : Fe, PO₄, Ca et NO₃ (graphiques 50, 51, 52 et 53)**

La teneur des éléments contenus dans les feuilles de PO₄ et de NO₃ était significativement plus élevée pour les plants cultivés avec les mycorhizes comparativement aux plants cultivés sans

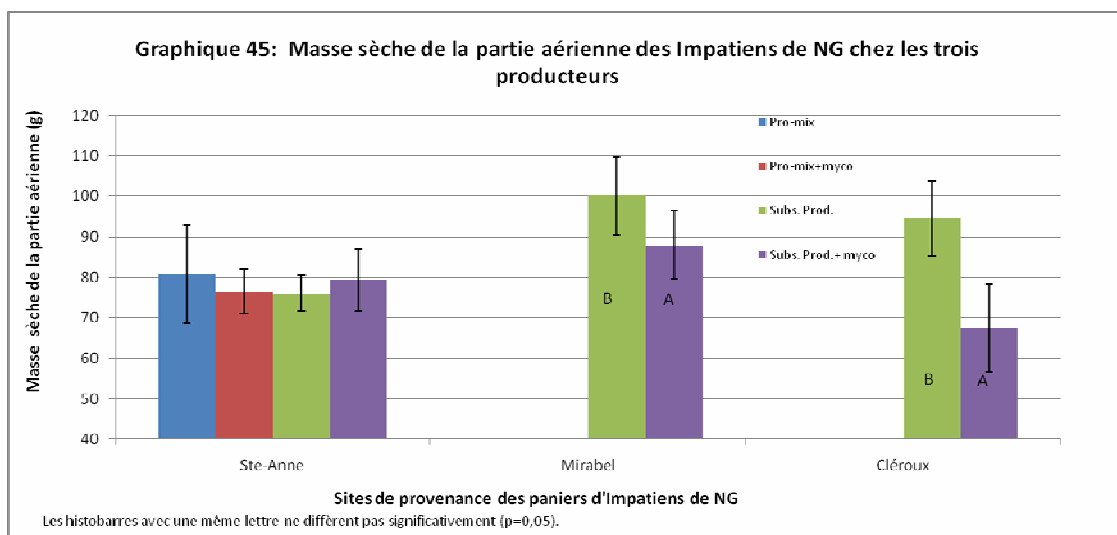
mycorhizes. Cependant, l'effet contraire s'est produit avec le fer, c'est-à-dire que les plants cultivés sans mycorhizes avaient un contenu en fer dans les feuilles plus important que les plants cultivés avec mycorhizes. Pour le calcium foliaire des plants, aucune différence n'a été observée.





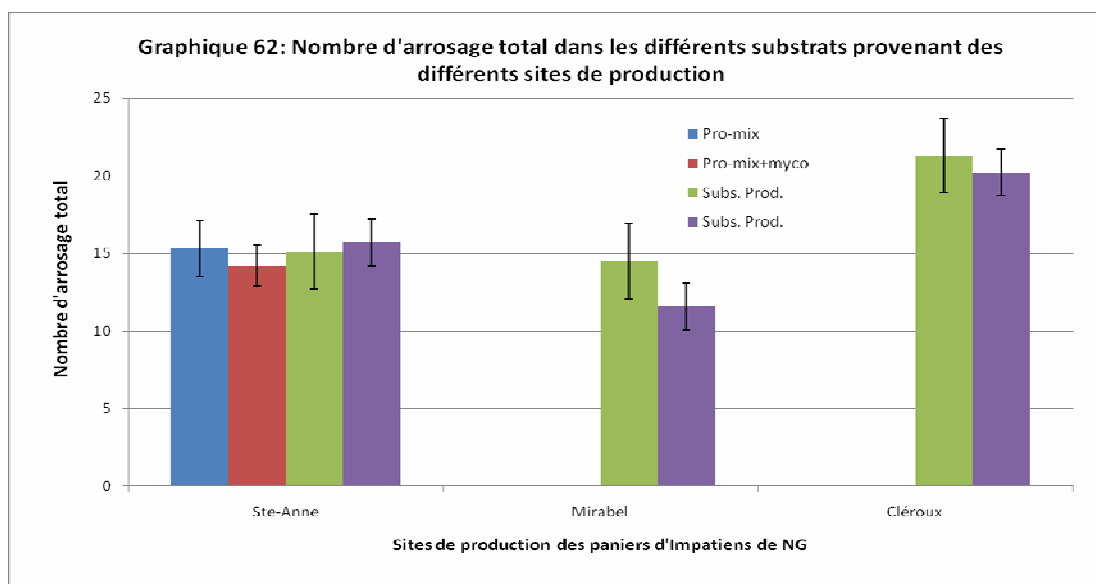
- **Masse sèche de la partie aérienne (graphique 45)**

La masse sèche des plants d'Impatiens cultivés dans le substrat du producteur sans mycorhize (T3) était significativement plus élevée que celle des plants cultivés avec des champignons mycorhiziens (T4).



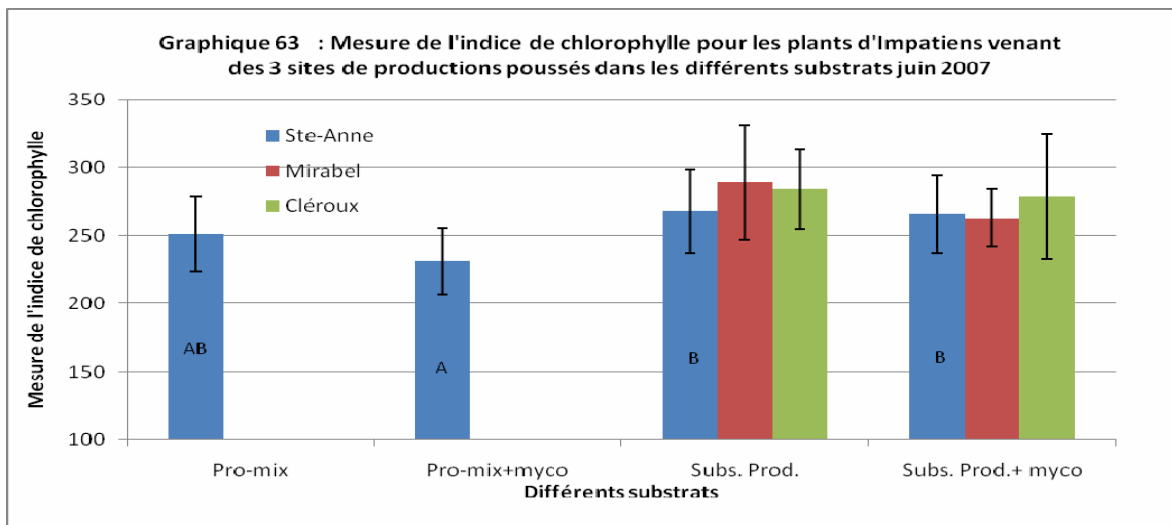
- **Nombre d'irrigations**

La compilation du nombre d'arrosages pour les serres Mirabel n'a pas démontré de différence significative entre les deux traitements, mycorhizés et non-mycorhizés. Cependant, une légère tendance nous laisse croire que les plants mycorhizés ont eu besoin de moins d'eau durant la période estivale puisqu'ils auraient eu besoin d'un nombre inférieur d'arrosages.



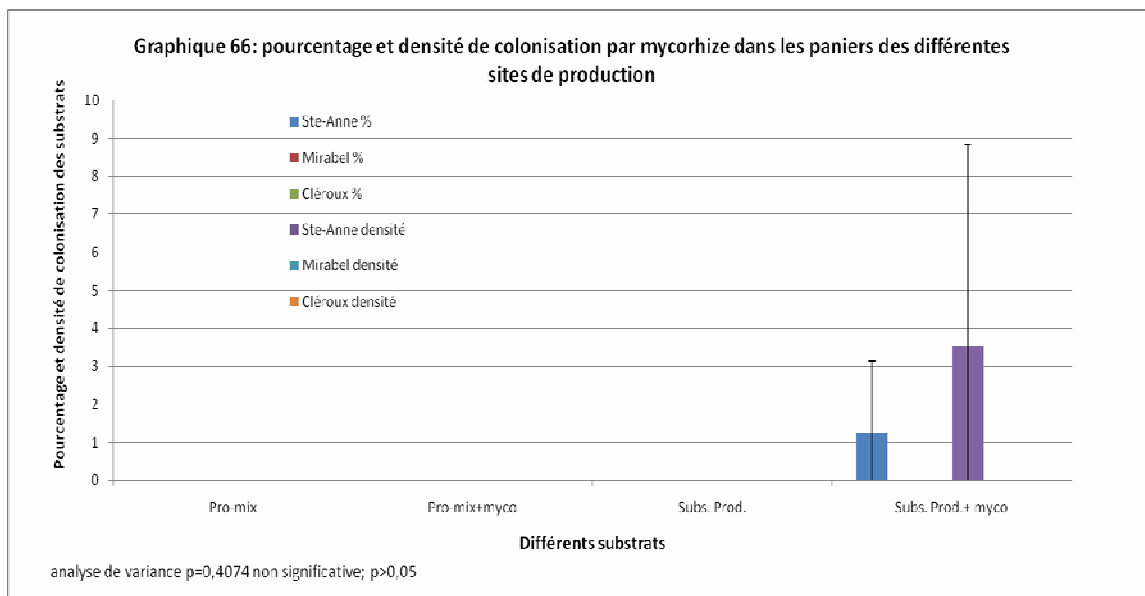
- **La teneur en chlorophylle**

Aucune différence significative



- **La colonisation des racines**

Aucune colonisation des racines pour tous les paniers envoyés au laboratoire d'analyses.



- **Le dépistage des plants**

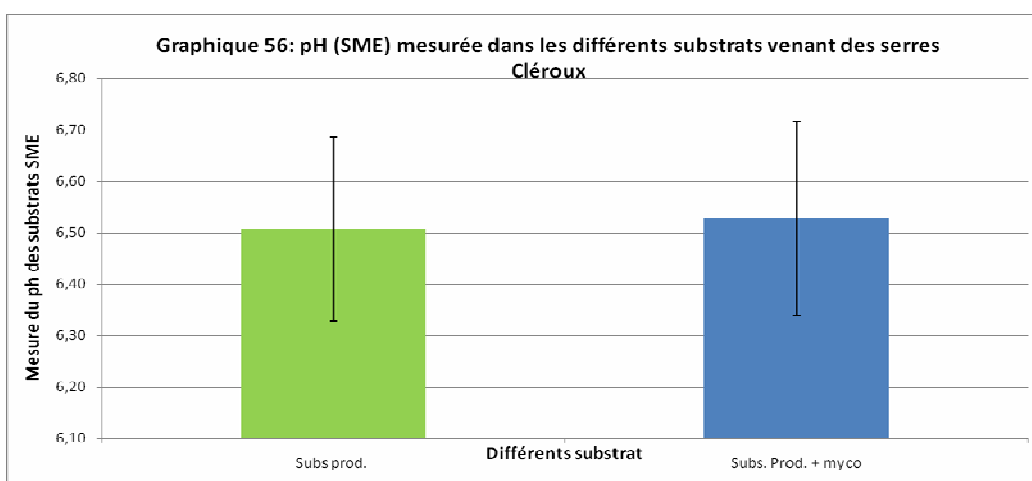
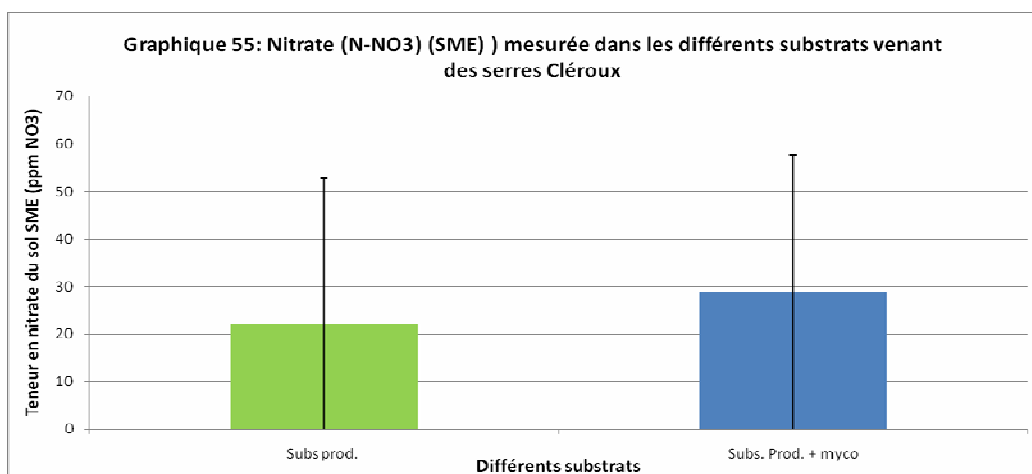
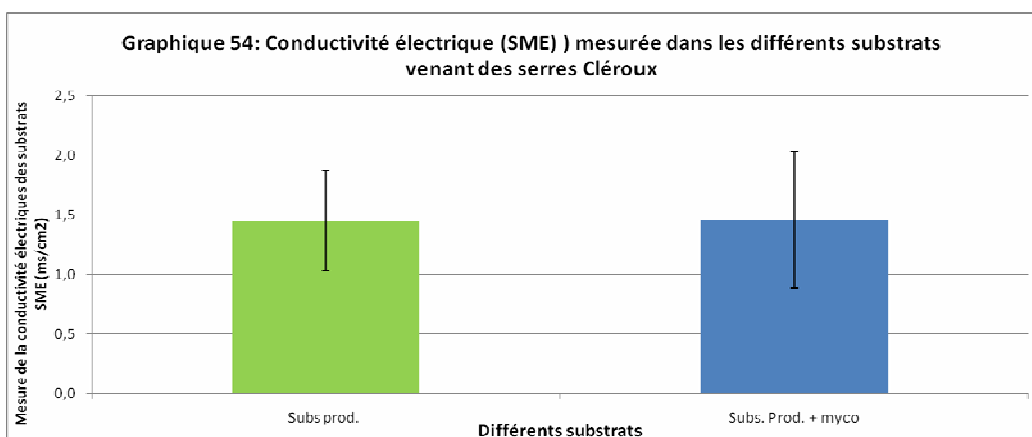
Aucune donnée statistique n'a été faite sur le dépistage des plants puisqu'il y a eu absence de maladie sur les plants. Cependant, le dépistage nous a permis de déceler la présence de tétranyques, mais aucune conclusion n'a pu être tirée puisque tous les traitements étaient infestés dans des proportions semblables.

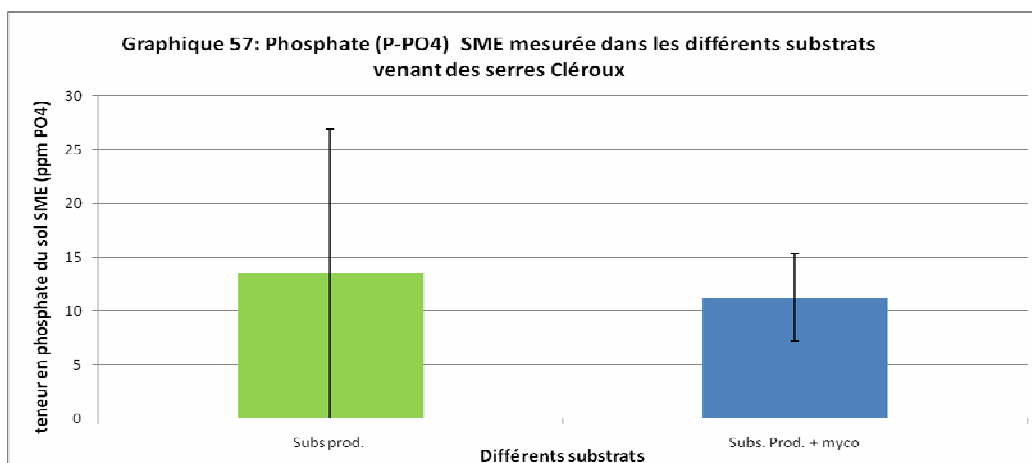
Les Serres Sylvain Cléroux

(Seulement les traitements avec le substrat du producteur T3 et T4)

- **Analyse de sol SME (nitrate, phosphate, pH, conductivité électrique (graphiques 54, 55, 56 et 57)**

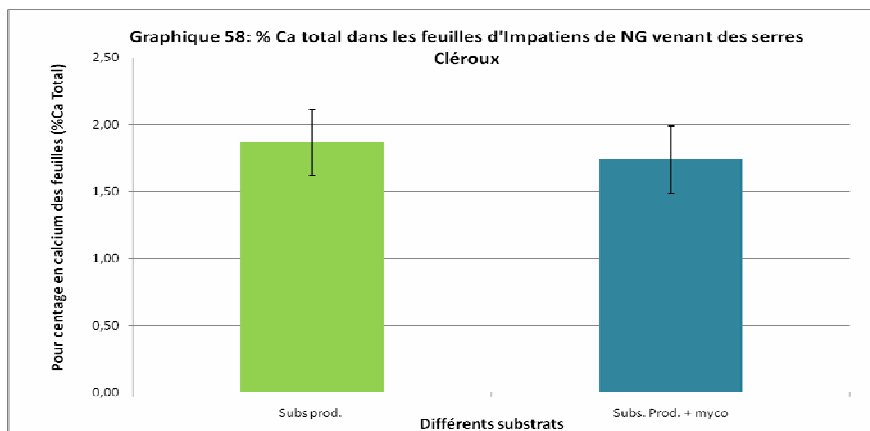
Aucune différence significative

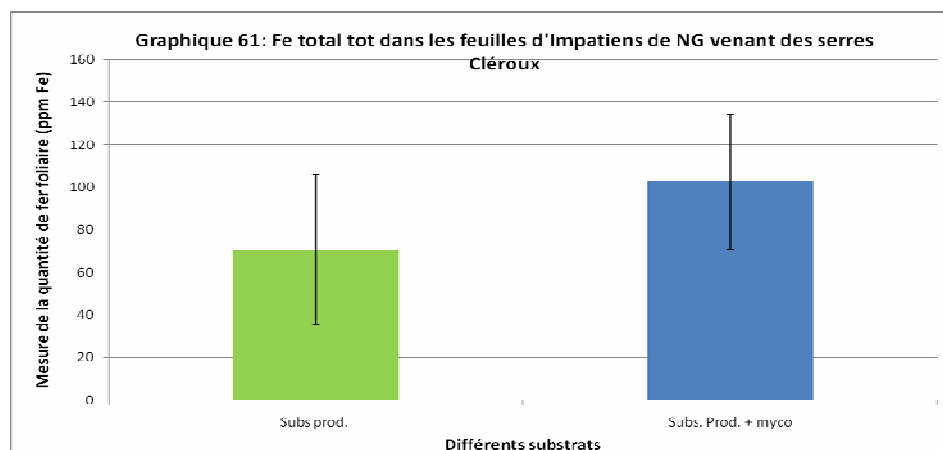
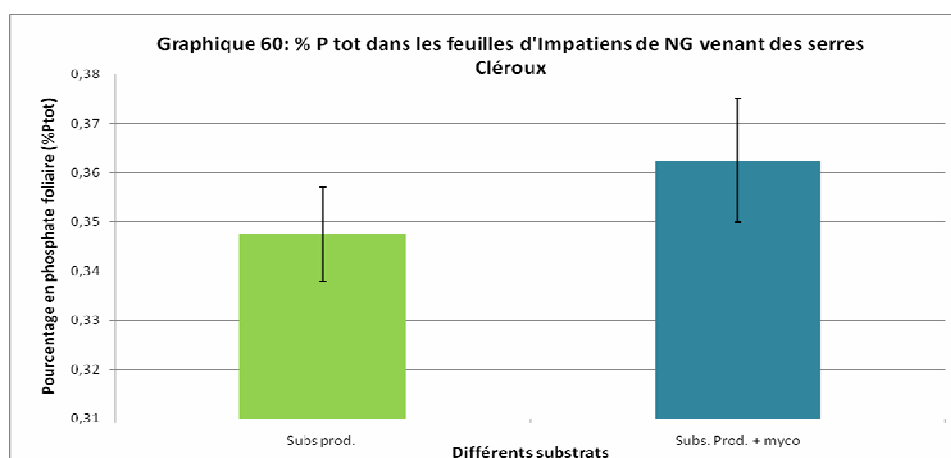
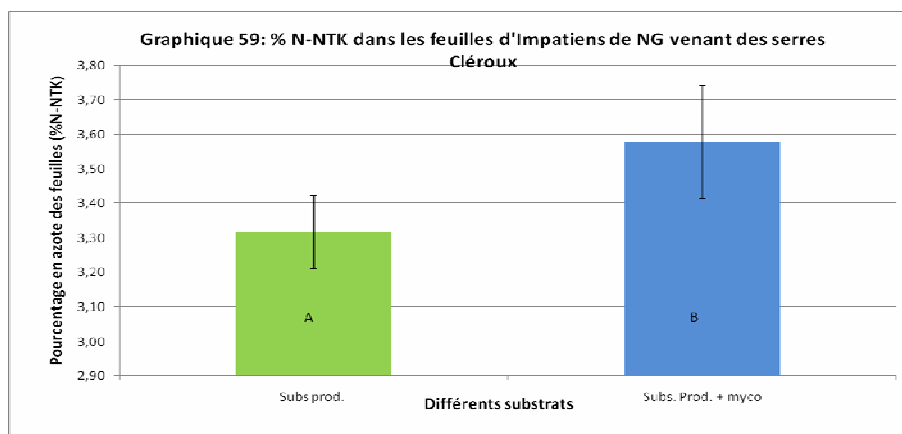




- **Analyse foliaire : Fe, PO₄, Ca et NO₃** (graphiques 58, 59, 60 et 61)

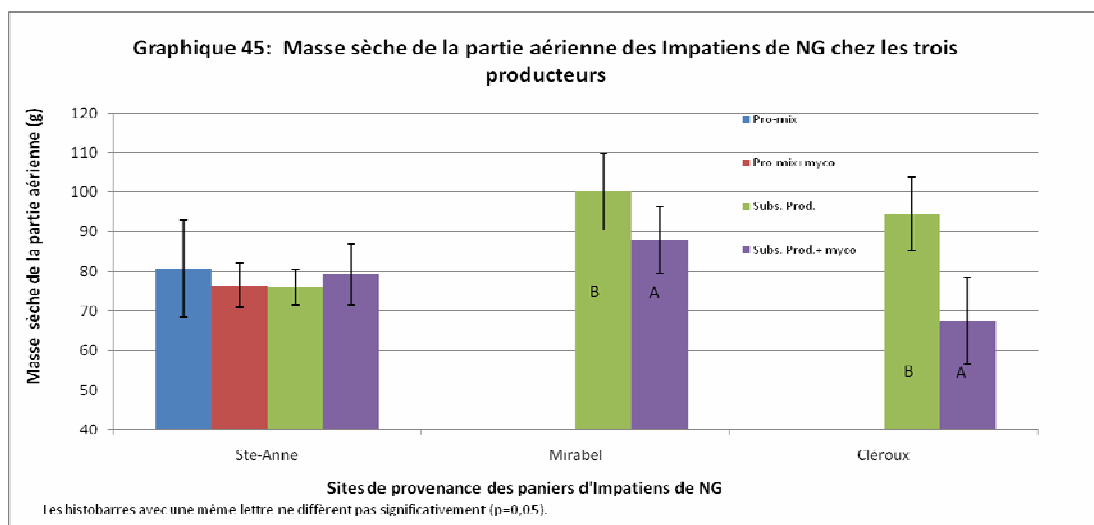
La teneur en azote contenue dans les feuilles d'Impatiens a été près de 10 % plus élevée dans le substrat du producteur avec mycorhize (T4) comparée au substrat du producteur sans mycorhize (T3). Les autres éléments étudiés ne semblent pas être assez différents pour être significatifs, mais il semble avoir une légère tendance pour les plants cultivés avec mycorhizes (T4) d'avoir une plus grande quantité de Fe et de P contenue dans les feuilles que le traitement sans mycorhizes ajoutées (T3).





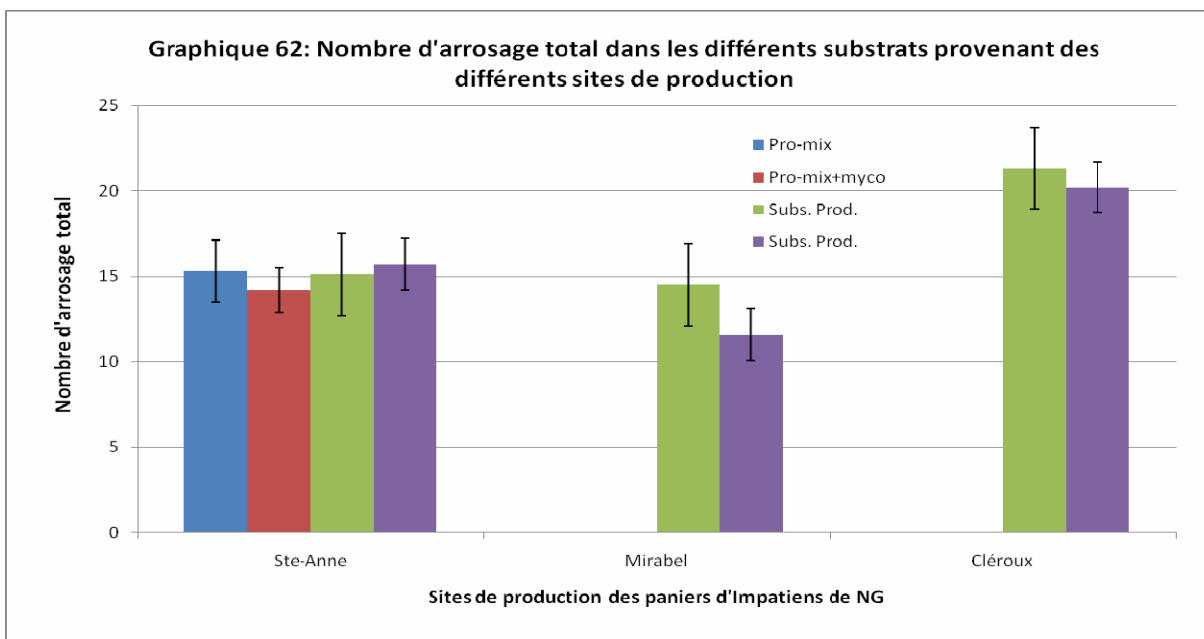
- Masse sèche de la partie aérienne (graphique 45)**

La masse sèche des plants d'Impatiens cultivés dans le substrat du producteur sans mycorhize (T3) était significativement plus élevée que celle des plants avec mycorhize (T4). Dans les faits, les plants sans mycorhizes avaient une masse sèche de près d'une fois et demie plus élevée que les plants avec mycorhize.



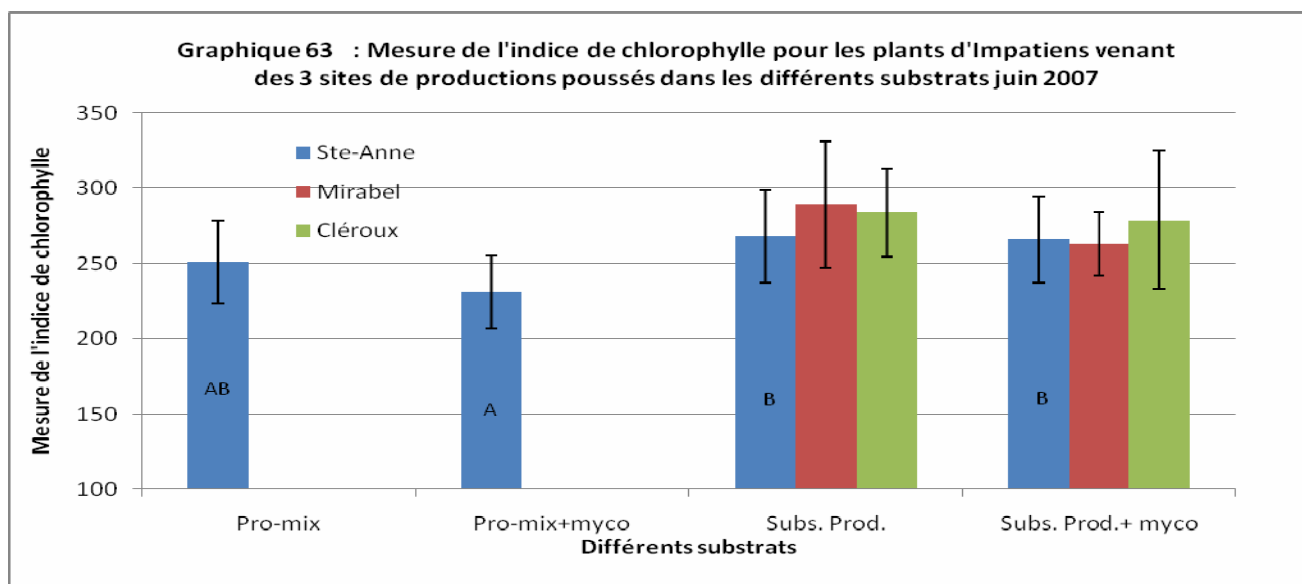
- **Nombre d'irrigation** (graphique 62)

Aucune différence significative.



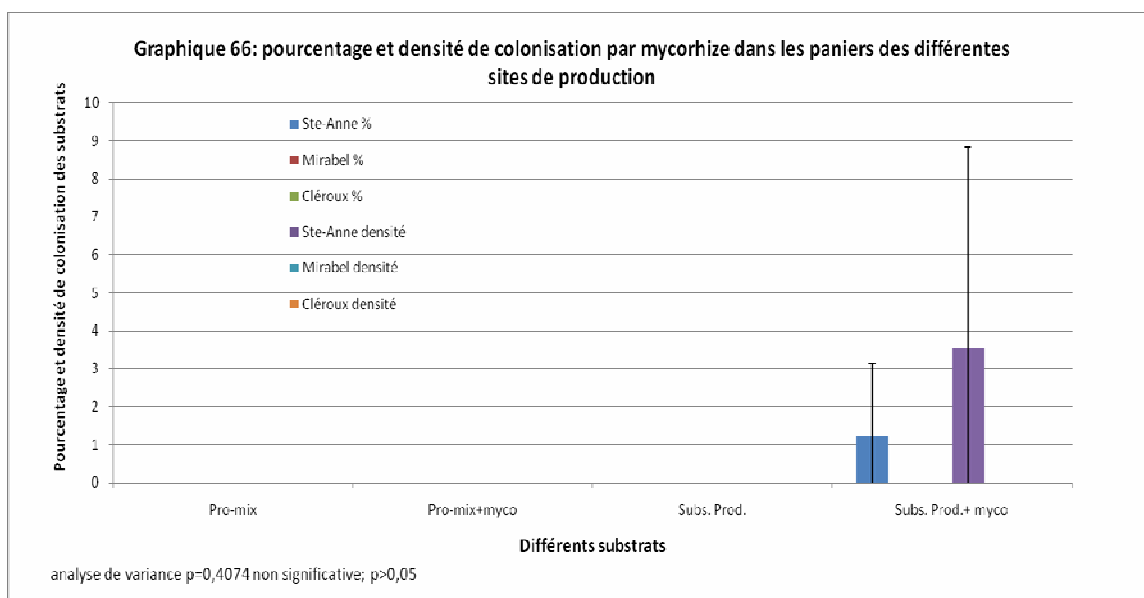
- **La teneur en chlorophylle**

Aucune différence significative.



- **Colonisation des racines**

Aucune colonisation des racines pour tous les paniers envoyés au laboratoire d'analyses.



- ***Dépistage des plants***

Aucune donnée statistique n'a été faite sur le dépistage des plants puisqu'il y a eu absence de maladie sur les plants. Cependant, le dépistage nous a permis de déceler la présence de tétranyques, mais aucune conclusion n'a pu être tirée puisque tous les traitements étaient infestés dans des proportions semblables.

Discussion par site pour la partie à l'extérieur

Les Serres Sainte-Anne

Les traitements T1 et T2 constitués de *Pro-Mix* proviennent uniquement des serres Sainte-Anne, il pourra donc y avoir certaines comparaisons entre les différents substrats utilisés seulement pour ce site. L'analyse des substrats concernant la conductivité et le pH suite à la période extérieure est fidèle aux résultats obtenus suite à la période de production. C'est-à-dire que les deux traitements à base de *Pro-Mix* (T1 et T2) possèdent une conductivité électrique plus faible et un pH plus élevé que les traitements faits avec le substrat du producteur (T3 et T4) (graphiques 37 et 39). La teneur en phosphates et en nitrates contenue dans le substrat du producteur (T3 et T4) semble plus élevée que dans le substrat à base de *Pro-Mix* (T1 et T2) sans toutefois être significative (graphiques 38 et 40). Pourtant, le contenu foliaire en phosphore des plants est semblable pour les traitements T1, T2 et T4 (graphique 43). Le traitement T3 s'est démarqué des autres puisqu'il possède une quantité supérieure significative de phosphore. Quant aux nitrates, malgré les différences dans le contenu du substrat, aucune différence n'est présente dans le contenu foliaire en nitrates (graphique 42). Pour les résultats obtenus avec la masse sèche et le nombre d'arrosages, aucune différence entre les traitements n'a été significative. Un seul panier a été colonisé après la période où les paniers suspendus étaient soumis aux conditions extérieures, un panier du traitement T4 (substrat du producteur avec présence de mycorhizes) (graphique 66). L'absence de colonisation des racines sera discutée un peu plus loin.

Les Serres Mirabel

Suite à l'analyse des substrats des paniers qui proviennent des Serres Mirabel, il n'y a aucune différence significative. Par contre, le contenu foliaire de PO_4 et de NO_3 était significativement plus élevé pour les plants cultivés avec les mycorhizes (T4) comparativement aux plants cultivés sans mycorhizes (T3) (graphiques 51 et 52). Malgré la capacité des mycorhizes d'absorber une plus grande quantité d'éléments minéraux, il est difficile d'associer le contenu foliaire avec les mycorhizes puisque les résultats de colonisation se sont avérés unanimement négatifs, c'est-à-dire aucune colonisation (graphique 66). La masse sèche des plants du T3 sans ajout de champignons mycorhiziens était significativement plus élevée que les plants du traitement avec mycorhizes T4 (graphique 45). Ces résultats sont contradictoires avec ce que nous avons trouvé dans la littérature puisque les plantes mycorhizées ont la capacité de produire une plus grande masse sèche que les plants non-mycorhizés en période de stress qui a été reproduit avec l'arrosage manuel durant la période extérieure. L'absence de colonisation pourrait permettre de comprendre pourquoi les plants mycorhizés n'ont pas démontré une meilleure croissance durant la période estivale. De plus, un nombre d'arrosages des plants T4 légèrement inférieur aux plants T3 pourrait avoir limité leur croissance (graphique 62).

Les Serres Sylvain Cléroux

L'analyse des substrats normalement utilisés aux serres Sylvain Cléroux ne présente aucune différence significative entre T3 et T4 en ce qui concerne la conductivité électrique, le pH, les quantités de PO_4 et NO_3 contenus dans le substrat (graphiques 54, 55, 56 et 57). Les plants cultivés avec des champignons mycorhiziens (T4) possèdent un contenu foliaire plus élevé en nitrates que les plants du traitement T3 sans mycorhizes, même situation que les plants provenant des serres Mirabel (graphique 59). Pour les éléments tels que le fer et le phosphore, les différences ne sont pas assez grandes pour être significatives, mais une tendance démontre bien que ces éléments sont en plus grande quantité dans les feuilles des plants avec mycorhizes T4 (graphiques 60 et 61). La masse sèche des plants du traitement T3 est significativement plus élevée que les plants avec les champignons mycorhiziens (graphique 45). Le même phénomène s'est produit aux serres Mirabel. Ces résultats sont très difficilement rattachables à la présence de champignons mycorhiziens puisqu'aucune colonisation des racines des plants analysés n'a été détectée.

Discussion globale pour la partie à l'extérieur

Après avoir discuté des paniers provenant des sites de production individuellement, voici quelques éléments communs pour chaque site qui seront discutés de façon globale. Les résultats des traitements composés de *Pro-Mix* T1 et T2 proviennent seulement des serres Sainte-Anne. Pour ces traitements, les différences obtenues ne semblent pas provenir de la présence des champignons mycorhiziens, mais bien au type de substrat. Les plants provenant des deux autres sites ont quelques résultats similaires comme nous avons vu précédemment, mais ils ne correspondent pas nécessairement à ce qui est retrouvé dans la littérature scientifique. Tout ceci peut s'expliquer par le fait qu'à l'exception de 1 panier, il n'y a pas eu de colonisation des racines par les champignons mycorhiziens (graphique 66). Il est donc pensable que les résultats obtenus ne correspondent pas à la présence de champignons mycorhiziens. Malgré le même entretien pour tous les paniers, les différentes variations des résultats peuvent être dues à d'autres facteurs comme l'influence des substrats. L'absence de colonisation à la fin du projet est inexplicable avec les paramètres que nous avons évalués durant la période à l'extérieur.

Avec ce que nous connaissons des mycorhizes nous pouvons seulement émettre des hypothèses sur l'absence de mycorhizes.

- D'abord, très peu de paniers étaient colonisés lors de la période de production. Donc, les chances d'avoir beaucoup de paniers colonisés à la fin de la période extérieure étaient faibles.
- Est-ce que les conditions pendant le transport auraient pu « tuer » les mycorhizes ? Selon nous, non. La température était autour de 8 degrés Celsius et les plants ont été transportés rapidement dans un camion éclairé et ventilé.
- Les sécheresses à répétition auraient-elles pu « tuer » les mycorhizes ? Selon nous, non. D'abord, la motte des paniers n'était jamais complètement totalement desséchée. Elle était sèche, mais il restait toujours un peu d'humidité dans la motte. D'ailleurs, si la sécheresse était trop intense, les plants d'impatiens n'auraient pas survécu, ce qui n'est pas arrivé.
- Est-ce que la méthode effectuée par PremierTech Biotechnologies en laboratoire pour tester la présence des mycorhizes était adéquate ? Les paniers avaient une motte de 12 po et le test n'utilisait que 3 petites mottes de 6cm x 6 cm. Alors, peut-être que le hasard a fait que toutes les mottes testées ne possédaient pas de mycorhizes, mais la présence de mycorhizes pouvait être possible dans le reste de

- la motte du panier. Cependant, il serait surprenant que ce fût le cas pour tous les échantillons prélevés.
- Le taux de phosphore contenu dans les substrats peut aussi être un facteur limitant le développement des champignons mycorhiziens. Nous avons étudié les analyses SME sans avoir de valeur précise du taux de phosphore maximal souhaitable pour favoriser la colonisation. Les impatiens de Nouvelle-Guinée sont des plantes qui requièrent un faible apport en fertilisation. Le nombre de ppm de $P-PO_4$ dans cette culture devrait être faible, de 5 à 7 ppm. Suite à la période extérieure, tous les taux de phosphore dépassent ces valeurs. Certains traitements sont même au-dessus de 20 ppm de $P-PO_4$. Dans le cas d'un excès de phosphore, la plante n'émet pas de signaux favorisant la colonisation et la croissance de la plante peut être affectée.

L'absence de colonisation ne s'explique pas très bien. Pourtant pour s'assurer d'obtenir une colonisation, nous avons recolonisé certains paniers des traitements T2 et T4 avec une solution préparée à partir d'un produit de champignons mycorhiziens PS3 de PremierTech Biotechnologies. Pour chaque site, nous avons colonisé de 4 à 5 paniers par traitements (T2 et T4) qui étaient destinés à être mis à l'extérieur pour la période estivale. Malgré une deuxième inoculation, aucune colonisation n'est apparue à la fin du projet.

Conclusion finale

Les quelques différences obtenues entre les traitements, tant en production qu'à l'extérieur, semblent avoir été influencées plus par les types de substrats que par la présence de champignons mycorhiziens. Par contre, le projet nous a permis de croire qu'il est possible d'obtenir une colonisation suite à un cycle normal de production, soit avec un substrat préinoculé comme le Pro-Mix BX / Mycorhize Pro, soit en ajoutant des mycorhizes à la plantation des boutures, comme avec la poudre de mycorhize PS3. Selon la littérature, il est parfois possible par contre que bien que les colonisations ne soient pas vues lors des tests en laboratoire, que les plants soient tout de même colonisés et qu'ils démontrent une croissance ou un développement supérieur. C'est pourquoi, malgré les faibles taux de colonisation, nous avons analysé les données de croissance et de développement des plants. Toutefois, la faible quantité de résultats significatifs obtenus ne nous permet pas de conclusion intéressante sur la croissance et le développement des plantes qui ont reçu des champignons mycorhiziens. Les faibles niveaux de colonisation des plants peuvent être dus aux taux élevés de phosphore dans certains substrats, la performance du produit, l'échantillonnage, etc.

Dans le cadre du projet, il semble possible que les mycorhizes existent naturellement dans certains types de substrats utilisés par les producteurs, autres que Pro-Mix. Cependant la source de champignons mycorhiziens n'est peut-être pas aussi bénéfique que celle vendue commercialement et conçue à cet effet. La grande variabilité à l'intérieur d'un même traitement est aussi une raison qui explique pourquoi très peu de résultats sont significatifs. De plus, à travers les prises de données, il n'y a pas eu de résultats similaires entre les producteurs.

Puisque les objectifs n'ont pas pu être atteints par l'absence de colonisation, nous ne pouvons pas tirer de conclusion sur la présence de mycorhizes dans le terreau avant et après le cycle de production d'annuelles en paniers suspendus. Une deuxième année d'essais aurait été profitable afin de raffiner le protocole et valider les résultats obtenus en cette première année d'essai.

Bibliographie

Abdalla, M.E., Abdel-Fattah, G.M., 2000. Influence of the endomycorrhizal fungus *Glomus mossea* on the development of peanut pod rot disease in Egypt. *Mycorrhiza* 10, 29-35.

Abdel-Fattah, G.M., Mankarios, A.T., 1995. Functionnal activity of the vesicular-arbuscular fungus *Glommus Mossese* in the protection of soybean from infection by pathogenic fungus *Chalara elegans*. Egypt. J. Microbiol. 30. 287-305.

Augé RM, Schekel KA, Waple RL, 1986. Greater leaf conductance of VA mycorrhizal rose plants is not related to phosphorus nutrition. *New Phytol* 103:107-116.

Dalpé Y. Agriculture et Agroalimentaire Canada, Biodiversité des champignons mycorhiziens. 2003. http://sci.agr.ca/ecorc/mycor/bio_sols_f.htm. Page consultée entre le 15 septembre 2006 et le 13 février 2007.

Gaur Anupama, Gaur Atimanav, Adholeya Alok, 2000. Growth and flowering in *Petunia hybrida*, *Callistephus chinensis* and *Impatiens balsamina* inoculated with mixed AM inocula or chemical fertilizers in a soil of low P fertility. *Scientia Horticulturae* 84 : 151-162.

Gaur Atimanav et Adholeya Alok, 2005. Diverse response of five ornamental plant species to mixed indigenous and isolate arbuscular-mycorrhizal inocula in marginal soil amended with organic matter. *Journal of Plant Nutrition*, 28: 707-723.

Hamel Chantal, 2004. Impact of arbuscular mycorrhizal fungi on N and P cycling in the root zone. *Can. J. Soil Sci.* 84 :383-395.

Hayman, D.S. 1983. The Physiology of vesicular-arbuscular endomycorrhizal symbiosis. *Canadian Journal of Biology* 61: 944-963.

Khalvati M.A., Hu Y., Mozafar, et Schmidhalter U., 2005. Quantification of water uptake by arbuscular mycorrhizal hyphae and its significance for leaf growth, water relations, and gas exchange of barley subjected to drought stress. *Plant. Biol.* 7 :706-712.

Nagahashi G., Douds Jr D. D., Abney G. D., 1996. Phosphorus amendment inhibits hyphal branching of the VAM fungus *Gigaspora margarita* directly and indirectly through its effect on root exudation. *Mycorrhiza* 6 :403-408.

Nowak Joanna, 2004. Effects of arbuscular Mycorrhizal Fungi and organic fertilization on growth, flowering, nutrient uptake, photosynthesis and transpiration of geranium (*Pelargonium hortorum* L.H. Bailey 'Tango Orange'). *Symbiosis* 37: 259-266.

Porcel Rosa et Ruiz-Lozano Juan Manuel, 2004. Arbuscular mycorrhizal influence on leaf water potential, solute accumulation, and oxidative stress in soybean plants subjected to drought stress. *Journal of Experimental Botany* vol. 55 No. 403 p.1743-1750.

Shaw M. Peter et al. Effect of vesicular-arbuscular mycorrhizae on flowering of geranium. Washington State University, WA.

Sohn Bo Kyoan, Kim Kil Yong, Chung Soon Ju, Kim Wol Soo, Park Sun Mi, Kang Jong Goo, Rim Yo Sup, Cho Ju Sik, Kim Tae Hwan, Lee Jeong Hyun, 2003. Effects of the

different timing of AMF inoculation on plant growth and flower quality of chrysanthemum. *Scientia Horticulturae* 98: 173-183.

Subramanian Kizhaeral S. et Charest Christiane, 1995. Influence of arbuscular mycorrhizae on the metabolism of maize under drought stress. *Mycorrhiza* 5 :273-278.

Zhu, Y. G., A. S. Laidlaw, P. Christie et M.E.R. Hammond. 2000. The specificity of arbuscular mycorrhizal fungi in perennial ryegrass, white clover pasture. *Agricultural Ecosystems and Environnement* 77 (3):211-278.