HAL open science

Effet de pratiques de fertilisation azotée sur la sensibilité d'une culture de tomate à l'oïdium et la pourriture grise en conditions de production sous serre.

Saddik Ozayou

To cite this version:

Saddik Ozayou. Effet de pratiques de fertilisation azotée sur la sensibilité d'une culture de tomate à l'oïdium et la pourriture grise en conditions de production sous serre.. Sciences du Vivant [q-bio]. 2011. hal-02811151

HAL Id: hal-02811151

https://hal.inrae.fr/hal-02811151

Submitted on 6 Jun 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

MINISTERE DE L'AGRICULTURE

Centre d'Angers - Institut National d'Horticulture et de Paysage

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

présenté pour l'obtention du MASTER 3A (Agronomie et Agroalimentaire)

Spécialité : Hortimet

Horticulture méditerranéenne et tropicale

Effet de pratiques de fertilisation azotée sur la sensibilité d'une culture de tomate à l'oïdium et la pourriture grise en conditions de production sous serre

par

Saddik OZAYOU

Mémoire préparé sous la direction de :

J.L. REGNARD

Organismes d'accueil :

INRA Alénya-Domaine expérimental horticole du Mas Blanc.

INRA Avignon Unité de Pathologie végétale Domaine St Maurice Montfavet

Présenté le : 20/09/2011

devant le Jury :

Emmanuel Geoffriau

Edith Le Cadre Barthelemy

Maîtres de Stage : Philippe NICOT

Robert FABRE

Benoit JANNEQUIN

Effet de pratiques de fertilisation azotée sur la sensibilité d'une culture de tomate à l'oïdium et la pourriture grise en conditions de production sous serre de Saddik OZAYOU est mis à disposition selon les termes de la licence Creative Commons Paternité - Pas d'Utilisation Commerciale - Pas de Modification 2.0 France.

Remerciements

Ce travail a été réalisé sous la direction de mes maîtres de stages MM. Fabre Robert, ingénieur de recherche et Bennoit Jannequin, directeur de la station expérimentale d'Alénya, M. Philippe Nicot, chercheur à l'unité de pathologie végétale de l'INRA d'Avignon.

Qu'ils trouvent ici mon respect et mes sincères remerciements pour leur accueil, leur encadrement, leur soutien, leurs conseils et éventuellement pour l'expérience qui ont partagé avec moi tout au long de ma durée de stage. Je les remercie également pour le temps qu'ils ont consacré pour moi, leur patience et leur générosité. J'adresse également mes sincères remerciements à mon tuteur M. J.L. Regnard, enseignant chercheur et responsable de mon option, pour son encadrement, son aide, ses conseils et pour le temps consacré afin de corriger mon rapport.

Mes remerciements s'adressent aussi M. Emannuel Geoffriau, enseignant chercheur et responsable de ma formation, pour son encadrement, sa patience, son aide et ses qualités humaines.

Par cette occasion je n'oublierai pas de remercier tout le personnel de la station d'Alénya ainsi que de l'unité de pathologie d'Avignon pour leur sympathie leur comportement et leur gentillesse.

Enfin, je remercie tous mes amis de la promotion « Hortimet », avec qui j'ai passé de bons moments aussi bien dans les études que dans les loisirs.

Liste des tableaux

Tableau 1 : Caractéristiques de la solution nutritive située dans le milieu racinaire (concentration en mmoles/L, sauf pour pH, pour EC et pour Fe). 5

Tableau 2:Composition des 4 types de solutions nutritives au niveau du goutteur utilisées sur la station INRA SAD d'Alénya pour les cultures précoces de tomate en fonction des stades phénologiques. 5

Tableau 3: Conduite et calendrier des cultures de tomates dans la serre 11

Tableau 4 : Manipulations et mesures faites durant la période de l'expérimentation 11

Tableau 5 : Composition minérale des solutions d'apport pour les trois régimes de fertirrigation..... 12

Tableau 6 : Composition minérale de la solution nutritive dans l'environnement racinaire des plantes 19

Tableau 7 : Composition minérale de la solution nutritive dans l'environnement racinaire des plantes, lorsque les valeurs initiales sont ramenées par calcul (règle de 3) à une EC identique pour chaque réseau de 3 mS / cm..... 19

Tableau 8 : Effet du régime de la fertirrigation sur le poids frais et le poids sec des feuilles. 20

Tableau 9 : Effet de la fertilisation azotée sur la matière fraiche des plantes entières. 20

Tableau 10 : Effet de la fertilisation azotée sur la surface foliaire (en cm^2) 20

Liste des Figures

Figure 1: Cycle de développement d'oïdium sur rosier 6

Figure 2: Dispositif de trois réseaux de fertirrigation dans la serre de l'expérimentation 12

Figure 3: Taches d'oïdium observées sur feuilles inoculées.

a)- Inoculation par pulvérisation de la suspension des spores d'oïdium sur feuilles. 14

b)- Taches d'oïdium sur feuilles dans la serre. 14

c)- Photo pour le traitement par le logiciel ASSESS en vue d'estimer la surface totale d'une feuille 14

Figure 4 : Inoculation d'oïdium sur feuilles au laboratoire.

a)- Dépôt des folioles dans la boite en plastique. 5

b)- et c)- Tube en polystyrène. 15

d)-Soufflage sur feuille attaquée par l'oïdium..... 15

Figure 5 : Inoculation de *B. cinerea* sur disques foliaires.

a)- et b)- Préparation des disques foliaires dans des boites..... 16

c)- et d)- Dépôt des implants mycéliens sur les disques foliaires. 16

e) - Développement des lésions sur les disques..... 16

Figure 6 : Inoculation de *B. cinerea* sur fruits au laboratoire.

a)- Incision d'un trou au niveau de chaque fruit..... 17

b)- et c)- Dépôt de l'implant dans chaque trou. 17

d)- Développement de la lésion sur fruit 17

Figure 7 : Inoculation et développement de botrytis sur chicots dans la serre.

a)- Préparation de la suspension de spores. 18

b)- Dépôt de la suspension de spores. 18

c)- Développement de botrytis sur chicot et tige. 18

d)- Eradication de *B. cinerea* et traitement par microdochium. 18

Figure 8: Evolution de la conductivité électrique (Ec) de la solution apportée pourc chacun des 3 réseaux d'arrosage 19

Figure 9 : Evolution de la conductivité électrique (EC) de la solution drainée 19

Figure 10 Proportion (en %) des volumes drainés par rapport aux volumes apportés 21

Figure 11: Evolution du rendement cumulé en fruits commercialisés via grappes et vrac. 21

Figure 12: Evolution de concentrations en nitrates dans la sève de pétioles prélevées à partir des plantes soumises à trois régimes de fertilisation azotée 21

Figure 13 : Variation de l'indice d'attaque en fonction de niveau d'azote. Les barres représentent 22

Figure 14 : Effet du niveau de la fertilisation azotée sur la densité des taches d'oïdium sur les feuilles. A- Densité par feuille, B- Densité par cm2 de surface foliaire 22

Figure 15: Effet du niveau de la fertilisation azotée sur le diamètre de taches d'oïdium sur les feuilles. 23

Figure 16: Effet du niveau de la fertilisation azotée sur le nombre de spores 23

Figure 17: Effet du régime de la fertilisation azotée sur le développement de lésions de *B. cinerea* sur les fruits avec six souches différentes 24

Figure 18: Effet du régime de la fertilisation azotée sur le développement de chancres sur tiges après inoculation des plaies d'effeuillage avec la souche BC1 de *B. cinerea*.. 24

Sommaire

Introduction générale 1
Synthèse bibliographique 3
I- La culture de la tomate et son importance économique 3
Présentation de la tomate 3
Importance économique de la tomate 3
II- Conduite technique de la tomate hors sol sous abris 3
Exigences climatiques 3
Fertirrigation de la tomate en hors sol sous serre 4
Les principaux bioagresseurs de la tomate 5
III-L'oïdium de la tomate 6
III-1- Généralités 6
III-3- Cycle de développement et épidémiologie 6
III-8-4- La lutte chimique 8
IV- La pourriture grise 8
IV-1-Taxonomie 8
IV-2- Plantes hôtes de *B. cinerea* 9
IV-3- Cycle de développement 9
IV-4- Conditions de développement 9
IV-5- Symptômes et dégâts sur tomate 9
V- Effet de l'azote et des autres éléments nutritifs sur la sensibilité de la plante aux maladies. 9
Matériels et Méthodes 11
I- Environnement de l'expérimentation et conduite de la culture 11
I- 1- Lieu de l'expérimentation 11
I- 2- Les principales caractéristiques de la serre de l'expérimentation 11
I- 3- Conduite de la culture de tomate 11
I-3-1- Gestion du climat dans la serre 11
I- 3-4- Les solutions fertilisantes 12
II- Effet du niveau de fertilisation azotée sur la production et la physiologie de la plante. 12
II-1- Prélèvement de feuilles et de plantes entières 12
II-2- Analyse de la composition minérale des tissus 13
II-3- Effet du niveau de fertilisation azotée sur le rendement en fruits. 13
III- Tests de sensibilité à l'oïdium 13
III-1- Inoculation sur feuilles dans la serre 13
III-1-1- Matériel végétal 13
III-1-2- Préparation de l'inoculum 13
III-1-4- Notations des attaques d'oïdium 14
III-2- Inoculation sur feuilles au laboratoire 14
III-2-1- Matériel végétal 14
III-2-2- Inoculation 15
III-2-3- Notation de l'oïdium sur feuilles au laboratoire 15
IV- Tests de sensibilité à *Botrytis cinerea* 16
IV-1- Les souches de *B. cinerea* utilisées 16
IV-2- Tests sur disques foliaires en laboratoire 16
IV-2-1- Matériel végétal 16
IV-2-2- Préparation de l'inoculum 16
IV-2-3- Inoculation 16

IV-2-4- Notation **16**
IV-3- Tests sur fruits au laboratoire **16**
II-3-1- Préparation de l'inoculum **16**
IV-3-2- Inoculation **17**
IV-3-3- Notation **17**
IV-4- Tests sur plaies d'effeuillage dans la serre **17**
IV-4-1- Préparation de l'inoculum (Suspension des spores) **17**
IV-4-2-Inoculation **17**
VI-4-3- Notation **17**
IV-4-4- Eradication **18**
V- Analyse statistique **18**
Résultats statistiques **19**
I- Composition minérale de la solution nutritive **19**
II- Effet de la fertilisation azotée sur la physiologie de la plante **20**
II-1- Matière fraiche et matière sèche **20**
II-1-1- Feuilles prélevées **20**
II-1-2- Plantes entières **20**
II-1-3- Surfaces foliaires **20**
II-1-3- Rendement en fruits **21**
II-2- Concentration en nitrate de la sève **21**
II-3- Composition minérale des tissus de feuilles, de tiges et de fruits **21**
III- Effet de l'azote sur la sensibilité à l'oïdium et à *Botrytis cinerea* **22**
III-1- Sensibilité à l'Oïdium **22**
III-1-1- Indice d'attaque des feuilles par l'oïdium **22**
III-1-2- Densité de taches sur les feuilles **22**
III-1-3- Diamètre des taches **22**
III-1-4- Sporulation **22**
III-2- Sensibilité à *Botrytis cinerea* **23**
III-2-1- Développement de lésion sur fruits **23**
III-2-2- Infection des plaies d'effeuillage et le développement de chancres sur tiges **23**
III-2-3- Nécroses foliaires **23**
Conclusions **25**
Références bibliographiques **26**
Annexes **31**

Introduction générale

Introduction générale

La production mondiale de la tomate a connu un essor considérable durant ces dernières années (Faostat, 2009). La tomate est en effet l'un des légumes les plus produits et les plus consommés dans le monde et la production est destinée essentiellement au marché de frais. Cependant, les maladies continuent à limiter la production. Les maladies les plus importantes de la tomate sous serre sont l'oïdium ou le blanc de la tomate dû à *Oidium neolycopersici* et la pourriture grise causée par *Botrytis cinerea*. Elles causent des problèmes récurrents pouvant engendrer des pertes importantes de la production.

La protection des cultures contre ces deux agents pathogènes repose essentiellement sur des interventions chimiques dont l'efficacité est parfois peu satisfaisante ouccompliquée car ce type de lutte entraine le développement de résistance aux fongicides et peu de matières actives sont homologués. D'autre part, l'application de ces produits a des effets non intentionnels défavorables vis-à-vis des auxiliaires de lutte biologique et engendre des résidus sur fruits qui peuvent nuire à la santé du consommateur.

Dans le cas d'une protection autre que chimique, seuls le soufre et le cuivre sont autorisés. Ce qui nécessite de chercher d'autres moyens alternatifs à la lutte chimique qui permettent de contrôler ces maladies.

FERTILEG (et son projet associé FERTIPRO) est un projet qui s'intéresse aux principaux bioagresseurs aériens des cultures de tomates et de salades sous abris et vise l'emploi de la fertilisation raisonné comme outil alternatif pour leur gestion et leur contrôle. Il s'inscrit dans le cadre de la production intégrée qui vise à limiter l'utilisation des produits phytosanitaires et les risques que peuvent engendrer sur la santé du consommateur.

Les principaux axes de ce projet sont :

- Conduite d'essais en station expérimentale visant à étudier l'effet de fertilisation de la plante sur sa sensibilité aux bioagresseurs et validation en conditions de production.
- Etude de l'efficacité des méthodes de lutte autre que chimiques.
- Elaboration de stratégies de production intégrée en conditions de production.

Il est reconnu depuis longtemps que la disponibilité des éléments minéraux dans la plante peut jouer un rôle dans sa sensibilité aux agents pathogènes, notamment les champignons. Les nutriments agissent sur le développement et la croissance de la plante, sur les mécanismes de défense de la plante. L'azote en particulier, influence fortement les interactions hôte-pathogène (Huber et Watson, 1974). En effet, Il peut être favorable ou défavorable au processus de l'infection. L'effet de la fertilisation azotée sur la sensibilité des plantes aux maladies a fait l'objet de plusieurs études, il a été constaté chez la tomate que l'augmentation de la concentration en N augmente significativement la sensibilité de la plante à l'oïdium (Hoffland et *al.*, 2000). Cependant, la

sensibilité de la plante à *B. cinerea*, diminue significativement avec la concentration en N dans les tissus (Hoffland et *al.*, 1999 ; Lecompte et *al.*, 2010).

La présente étude vise à évaluer si les effets observés au laboratoire peuvent être validés dans des conditions réelles de production.

Les objectifs spécifiques consistent à

- A comparer l'effet de trois régimes de fertirrigation avec des doses différentes en azote avec des questions de recherche suivantes :
- L'effet de la fertilisation azotée sur la sensibilité de la tomate à l'*O. neolycopersici* et à *B. cinerea.*
- L'effet de la fertilisation azotée sur la physiologie de la plante (Matière fraiche et matière sèche).
- L'étude de l'effet du niveau de la fertilisation azotée sur la composition minérale des tissus.
- Le contrôle de la fertilisation durant l'essai.

Le plan que nous avons adopté dans ce rapport traite les parties suivantes :

- Une synthèse bibliographique qui traite les différents aspects en relation avec le sujet d'étude, afin de justifier la méthodologie adopté dans ce travail.
- Une deuxième partie traite les matériels et méthodes utilisés.
- Résultats et discussion.
- Et enfin une conclusion générale avec des recommandations.

Synthèse bibliographique

I- La culture de la tomate et son importance économique

Présentation de la tomate

La tomate cultivée « *Solanum lycopersicum* Mill » appartient à la famille des solanacées. Elle est d'origine tropicale (Amérique latine), et de ce fait, elle a des exigences particulières. Elle est sensible au froid, elle craint beaucoup le gel et est très exigeante en température. Elle possède une tige vigoureuse et ramifiée. Il existe deux types de croissance chez la tomate : croissance indéterminée et croissance déterminée (Anonyme, 1999 ; Polèse, 2007).

Importance économique de la tomate

La tomate est le deuxième légume consommé dans le monde après la pomme de terre et elle est le troisième le plus produit. En effet, la production mondiale de la tomate a connu un essor considérable durant ces dernières années Elle est passée de 123 millions enregistrés en 2005 à 126 millions tonnes en 2007 (FAO, 2009). En France, la production annuelle est passée de 800 417 tonnes en 2009 à 808 357 tonnes en 2010 dont les 25 % et 27 % sont respectivement destinés à la transformation (Anonyme, 2010).

II- Conduite technique de la tomate hors sol sous abris

La production de tomate en hors-sol s'est développée dans les années 75 aux Pays Bas et des années 80 en France. Elle consiste à cultiver des tomates sur des substrats inertes en contrôlant leurs nutritions nutritives (Blanc, 1987) Les substrats les plus utilisés sont laine de roche, la fibre de coco, la tourbe, le bois, la pouzzolane, etc…

L'objectif de la production sous abri est de créer un environnement favorable au développement de la plante. Il existe différents types d'abris, les tunnels en plastiques servent à limiter les actions du climat externe, notamment la pluie, le vent et partiellement le froid. Ces abris servent à une production de tomate à courte période. En parallèle, on trouve des abris évolués ayant une capacité à contrôler le climat interne de la serre selon des consignes de température, d'hygrométrie, de luminosité et de la teneur de l'air en CO_2.

Exigences climatiques

La température est le facteur le plus déterminant de la production de la tomate. En effet, les basses températures (< 10°C) freinent la croissance et le développement des entre-nœuds et entrainent la formation d'un feuillage abondant au détriment de la production et entraînent des difficultés de nouaison et les ramifications des bouquets (Anonyme, 1999). Les températures aériennes optimales sont 20-25°C pendant le jour et 13 à 17°C pendant la nuit. De même la température racinaire joue un rôle important dans la production en matière sèche. La plus grande masse sèche de la partie aérienne a été obtenue à 24 °C sous fertilisation azotée 22,5 mmoles/L d'azote. Les hautes températures couplées avec des fortes doses d'azote accroissent le nombre de fleurs avortées et réduisent la productivité de la tomate (Gousselin et *al.*, 1984).

L'humidité de l'air optimale au développement de la tomate est de l'ordre de 75% (Anonyme, 1999, Polèse, 2007). Cependant, une humidité trop élevée couplée à une température élevée entraîne un allongement des entre-nœuds et favorise le développement des maladies, notamment la pourriture grise et le mildiou (Anonyme, 1999).

La lumière est un facteur écologique fondamental, elle intervient dans de nombreux phénomènes notamment la photosynthèse. La tomate est une culture neutre à la photopériode. Cependant, elle est exigeante en énergie lumineuse et un manque peut inhiber l'induction florale. La réduction de lumière baisse le pourcentage de germination du pollen. En revanche le déficit de lumière est compensé par des températures élevées sous les serres (Anonyme, 1999).

Dans le cas des systèmes de production hors sol sous abris, les conditions climatiques sont contrôlées par le serriste avec des systèmes de pilotage qui pour les plus performants gèrer les températures, l'hygrométrie, la luminosité et la teneur en CO_2

Fertirrigation de la tomate en hors sol sous serre

Elle consiste à maintenir dans l'environnement racinaire une solution contenant des éléments nutritifs sous forme assimilable par la plante. La croissance et le développement de la tomate en hors sol nécessitent en permanence une bonne synchronisation entre les besoins des végétaux en minéraux et leur fourniture par la solution nutritive (Morard, 1995). La composition minérale de la solution peut être aussi ajustée en fonction de la technologie de la culture utilisée (recyclage, substrat, …), du stade de développement et des conditions climatiques et bien sûr du stade de développement. La concentration totale en macroéléments dans les solutions nutritives est en général relativement élevée, d'une part pour éviter l'apparition de tout facteur nutritionnel limitant. Elle se situe en moyenne autour de 20 mmoles/L de cations et de 20 mmoles/L d'anions. Or, cette technique de fertilisation en hors sol, aussi bien en recherche qu'en production horticole présente deux inconvénients (Morard, 2003**)**: (i) les concentrations élevées favorisent une consommation de luxe en macroéléments et peuvent parfois induire des phénomènes d'antagonisme entre les ions de même charge. (ii) le développement en horticulture à solution nutritive non recyclée engendrent des effluents qui représentent un risque important de pollution de l'environnement. En effet, 30 à 40% des solutions nutritives ne sont pas utilisées par la culture et sont rejetées (Morard et Martinez, 2001).

Ainsi, les effluents, mesurés pendant la période de production d'une culture de tomate sur substrat de laine de roche ont été évalués, par hectare et par an, à 3450 m^3 de solution de

drainage contenant 5588 kg de sels minéraux dont 2355 kg de nitrates (Morard et Martinez, 2001). Le principe de la fertilisation consiste à maintenir dans le substrat, une solution ayant des caractéristiques constantes (Jeannequin, 1984). Voogt et Bloemhard (1994) définissent pour chacun des éléments minéraux les caractéristiques de cette solution (Tableau 1). Le respect de ces normes garantit une assimilation, satisfaisante de l'eau et des éléments fertilisants nécessaires au développement des plantes (Letard et *al.*, 1995).

Afin de maintenir ces teneurs dans l'environnement racinaire, il est préconisé de respecter certains stades propres à la culture hors-sol de la tomate. Ainsi aux Pays bas, sept stades distincts sont définis, ce qui correspond à 7 types de solutions nutritives d'apport différentes selon Letard et *al.* (1995). En France selon les régions et les exploitations on peut distinguer un plus faible nombre de stade s (Tableau 2).

Les principaux bioagresseurs de la tomate

Les principaux ravageurs de la tomate de serre sont les aleurodes tels que *Trialeurodes vaporariorum* et *Bemesia tabacci*, qui peuvent être vecteurs de virus tels que TYLCV (Tomato Yelleow, Leaf Curl Virus) et ToMV (Tomato mosaic virus) (Blancard et al., 2009), les thrips principalement *Frankliniella occidentalis et Thrips tabacci*, les acariens principalement l'acarien jaune *Tetranychus urticae* et l'agent de l'acariose bronzée (*Aculops lycopersici*) qui peuvent être nuisibles surtout en période chaude et sèche (Anonyme, 2010b). Un autre ravageur pouvant être important sur tomate est *Tuta absoluta.* Il est apparu récemment en 2008 en France (Ramel, 2008). Ce ravageur creuse des galeries dans les feuilles et les fruits, aboutissant à la diminution de la photosynthèse et à l'attaque par des agents pathogènes tels que *Botrytis cinerea.* Il y a bien d'autres ravageurs qui peuvent attaquer la tomate sous serre, tels que les pucerons, les chenilles (*Helicoverpa armigera* et autres), les punaises (*Nesidiocoris tenuis*)… La protection intégrée est le moyen le plus utilisé pour le contrôle de ces ravageurs. En effet, actuellement l'utilisation des méthodes de lutte biologique disponibles commercialement donne de bons résultats sur tomate sous serre. Il faut introduire les auxiliaires tels que *Machrlophus caliginosus* ou *Phytoseilus persimilis* quand le ravageur apparaît. Cela implique un dépistage des ravageurs ailés à l'aide de pièges collants installés au dessus des cultures et de l'examen périodique du feuillage pour ceux qui ne volent pas, tels que les acariens (Weil et Duval, 2009). Parmi les principales maladies de la tomate sous serre, on trouve l'oïdium (*Oidium neolycopersici* et *Leveillula taurica*) et de la pourriture grise causée par *Botrytis cinerea* (Blancard et al., 2009).

Tableau 1 : Caractéristiques de la solution nutritive située dans le milieu racinaire (concentration en mmoles/L, sauf pour pH, pour EC et pour Fe).

pH	5,5
EC (Conductivité électrique)	3 mS/cm
N (NO_3^-)	17.0
P	0,5
Ca	7.0
Mg	14.0
SO4	10.0
Na	< 8.0
Cl	< 8.0
Fe	15.0 mg / L

Source: Voogt et Bloemhard (1994)

Tableau 2:Composition des 4 types de solutions nutritives au niveau du goutteur utilisées sur la station INRA SAD d'Alénya pour les cultures précoces de tomate en fonction des stades phénologiques.

Stade phénologique de la plante	Eléments minéraux (mmoles/L) dans le substrat									EC (mS/cm)
	NO_3^-	NH_4^+	$H_2PO_4^-$	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	SO_4^{--}	Na^+	Cl^-	
sol n°2 plantation -F2 à F6	20,2	1,5	2,5	10,6	26,2	8,4	7,6	3,2	4,6	3,3
sol n°3 F6-R2	15,5	1,3	2,4	11,2	17.,8	8,2	7,4	1,5	4,1	2,8
sol n°4 R2 à début été	11,8	0,7	1,5	6,6	19,0	7,4	6,2	1,5	4,2	2,2 *
sol n°5 spéciale été de juin à fin	10,6	0,7	1,5	4,6	19,6	7,2	6,2	1,5	3,7	2,0

Source : Robert Fabre, communication personnelle

F2 et F6 = Floraison des bouquets n°2 et n°6
R2 = Récolte du bouquet n°2
(*) Solution utilisée d'abord à Ec 2,5 puis progressivement à 2,2 en fonction luminosité et de l'Ec au drainage

III-L'oïdium de la tomate

III-1- Généralités

L'oïdium de la tomate peut être causé par deux espèces de champignons : *Oidium neolycopersici* et *Leveillula taurica* (Kiss et *al*., 2001). La plus fréquente de ces deux espèces est *O. neolycopersici*. Champignon été introduit en France en 1986 dans la région d'Orléans par l'intermédiaire de jeunes plants de tomate importés des Pays Bas (Blancard et *al.*, 2009). Par la suite, il s'est répondu à toutes les zones de production, attaquant les cultures sous abris de tomate pratiquement toute l'année.

III-2- Taxonomie

L'*Oidium neolycopersici* appartient à la classe des Ascomycètes, sous classe des Euascomycètes, série des Unitunicatae, sous-série des Pyrénomycètes, ordre des Erysiphaceala, famille des Erysiphaceae (Luttrell, 1955).

III-3- Cycle de développement et épidémiologie (Figure 1)

O. neolycopersici est un parasite obligatoire qui ne peut survivre que sur un hôte vivant. Le champignon se reproduit par des conidies qui se détachent des conidiophores et se dispersent sur de grandes distances par le vent pour se déposer à la surface des feuilles (Jones et *al*., 2000 ; Jones, 2001). Le champignon est propagé également dans une moindre mesure par des insectes ravageurs (thrips, pucerons et mouches blanches). Cependant, il n'est pas transmis par les semences. Une fois au contact de l'hôte, les conidies germent en quelques heures si les conditions leur sont propices. Elles forment un appressorium, puis le champignon pénètre directement dans les cellules épidermiques, développant des haustoria. Ces derniers jouent le rôle de suçoirs permettant le prélèvement des éléments nécessaires à la croissance du mycélium (Kiss et *al.*, 2001). De nombreux cycles de développement se produisent pendant la période de croissance de la plante (Agrios, 1991).

III-4- Facteurs de développement

La maladie se développe préférentiellement à l'ombre sous le couvert végétal, préfère les plants rapprochés et se développe également dans les conditions favorisant la croissance et le rendement de la culture (Anonyme, 2005). Elle préfère les hygrométries égales ou inférieures à 80% d'humidité ; au dessus, son développement se réduit graduellement. Par conséquent les hygrométries excessives entraîneraient une réduction de la gravité de la maladie. La température optimale au développement de ce champignon est 22°C (Douglas, 2003 ; Blancard et *al.*, 2009).

III-6- Plantes hôtes

La tomate est l'hôte principal d'O. *neolycopersici*, et toutes les variétés de tomate peuvent être infectées (Fletcher et *al.*, 1988). Cependant, sa gamme d'hôte est assez large. En conditions

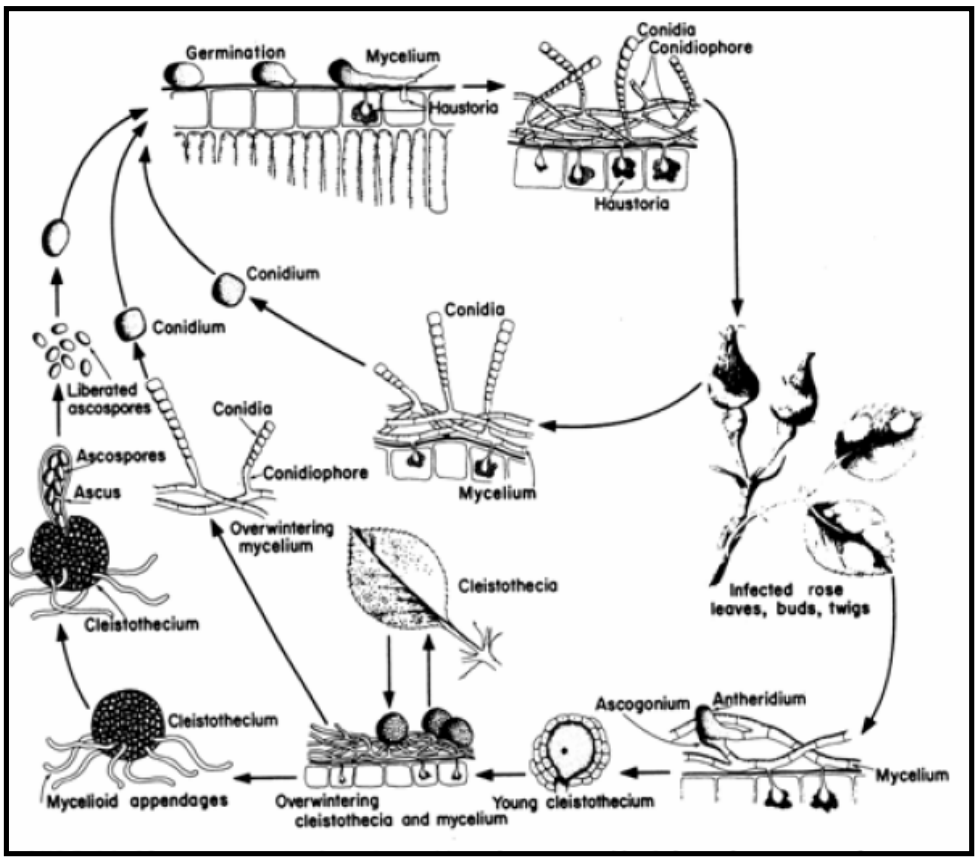


Figure 1: Cycle de développement d'oïdium sur rosier (Agrios, 1992)

d'inoculation artificielle il s'installe difficilement sur melon, concombre, courgette, pois mais il se développe plus sur aubergine, pomme de terre, *Solanum albicans*, *S. acaule*, *S. mochiquense*, mais sans s'y maintenir (Anonyme, 2005; Fletcher et *al.*, 1988). Le tabac y est très sensible et pourrait constituer un hôte alternatif. D'autres études faites par Whipps et *al.* (1998), ont révélé que 13 familles pourraient servir d'hôtes pour l'*O. neolycopersici*. Différents auteurs ne se sont pas mis d'accord sur la gamme des plantes hôtes de cette maladie, et ceci serait probablement dû au fait que différents pathotypes existent (Fletcher et *al*., 1988; Huang et *al*., 2000 ; Kiss, 1996 ; LaMondia, 1999 ; Mieslerova et Lebeda, 1999 ; Smith et *al.* , 1997; Whipps et *al.* , 1998).

III-7- Symptômes

Le champignon provoque des taches blanches sur la surface des feuilles assez caractéristiques des oïdiums. Celles-ci ne disposent pas généralement de marges très distinctes et se développent progressivement pour donner un feutrage poudreux et blanc couvrant plutôt la face supérieure des folioles de tomate. Ce feutrage blanc est en fait constitué d'un réseau mycélien colonisant superficiellement le limbe, surmonté de nombreux conidiophores produisant des conidies hyalines isolées ou parfois en pseudochaînes de 4 à 6 spores lorsque l'humidité relative est élevée. Les feuilles attaquées deviennent brunes et se dessèchent sur la plante. Généralement, les feuilles inférieures sont les premières touchées et la maladie se déplace progressivement du bas vers le haut (Anonyme, 2005). Le champignon pourra attaquer d'autres plantes avoisinantes par la transmission des spores par les courants d'air ou les activités de production (Anonyme, 2003). Des taches comparables peuvent être observées sur d'autres parties de la plante, notamment la tige et les pétioles. Néanmoins, les fruits ne sont jamais affectés. Une attaque sévère du champignon pourrait conduire à la chlorose des feuilles, à la sénescence prématurée et à une réduction marquée de la taille et la qualité des fruits (Whipps et *al*., 1998).

III-8- Contrôle d'oïdium

III-8-1- Les méthodes culturales

Pour réduire le risque de la maladie dans la serre, différentes mesures prophylactiques peuvent être engagées, entre autres : le maintien d'un espace adéquat entre les plantes et les lignes dans le but d'éviter l'ombrage, le maintien d'une humidité relative faible par la ventilation et le chauffage et le maintien d'une bonne circulation d'air (AVRDC, 2005).

Une fois la maladie détectée, tous les tissus attaqués par l'oïdium devraient immédiatement être retirés et placés dans les sacs en plastique afin d'éviter la propagation des spores.

Toutes les zones de production doivent être nettoyées en éliminant les débris végétaux infectés dans et autour de la serre. Signalons que le maintien d'un climat humide permettrait de freiner l'évolution de la maladie.

La détection précoce de la maladie est important et les mesures de contrôle permettent de réduire le développement de la maladie te de limiter le nombre d'applications fongicides foliaires (AVRDC, 2005).

III-8-2- La résistance des cultivars

Plusieurs résistances à *O. neolycopersici* sont signalées dans la littérature ; elles ont été plus ou moins exploitées par les sélectionneurs (Lindhout et *al.*, 1994a, 1994b). Une résistance induite par le gène *Oi-1* a été trouvée dans l'espèce sauvage *Solanum habrochaites* (Blancard et al., 2009). Des résistances ont été également constatées chez d'autres espèces de Lycopersicon : *L. cheesmanii, L. chilense, L. chmielski, L. minutum, L. parviflorum, L. pennelli* et *L. peruvianum*.

III-8-3- La lutte biologique

Le contrôle de l'oïdium par des moyens biologiques a été assez peu étudié sur la tomate. Un extrait de la renouée de Sakhaline (*Reynoutria sachalinensis,* nom commercial : Milsana*)* a montré une excellente efficacité pour contrôler l'oïdium sur diverses cultures notamment sur tomate (Trottin-Caudal et *al*., 2001 ; Trottin-Caudal, 2003). La lutte biologique contre *O. neolycopersici* est un domaine qui pourrait se développer dans les prochaines années. En effet, certains mycoparasites ont une activité contre *O. neolycopersici*. Il s'agit des champignons et levures *Ampelomyces quiqualis, Sporothrix flocculosa, Stephanoascus rugulosus*, les espèces de *Tilletiopsis* (Hajlaoui et *al.*, 1992 ; Hijwegen, 1992 ; Falk et *al.*, 1995 ; Verhaar et *al.*, 1997). Il est possible de combiner des pulvérisations foliaires de spores de ces micro-organismes avec des sels de phosphate et de potassium, agissant à la fois par des effets directs sur l'agent pathogène et la résistance induite chez la plante (Reuveni et *al*., 1994, 1996).

III-8-4- La lutte chimique

Lors d'un début d'attaque localisée d'oïdium, il est possible de réaliser des traitements fongicides avec les produits suivants : soufre, myclobutanil, bupirimate, azoxystrobine, hexaconazole, triforine, triadiméfon, propiconazole, fenarimol et pyrazophos. (Voir liste des fongicides autorisés en France, Annexe 1).

IV- La pourriture grise

La pourriture grise de la tomate causée par *B. cinerea* est l'une des principales maladies fongiques aériennes en production de tomate sous serre.

IV-1-Taxonomie

Il y a deux formes pour le champignon : la forme parfaite *Botryotinia fuckeliana*, un Ascomycète, appartenant à la classe des Discomycètes, l'ordre des Léotiales, famille des Sclerotiniaceae. Cependant, cette forme est rare dans la nature.

La forme imparfaite, *B. cinerea* est un Deutéromycète, appartenant à la classe des Hyphomycètes, ordre des Moniliales, Famille des *Moniliaceae* (Williamson, 2007).

IV-2- Plantes hôtes de *B. cinerea*

Ce champignon peut attaquer les feuilles, les tiges et les fruits de plusieurs espèces de plantes d'importance économique. En effet, il attaque plus de 200 espèces de plantes, principalement les dicotylédones sous serre (Tomates, concombre, poivron, fraise, rose…).

IV-3- Cycle de développement

Les conidies sont produites par les conidiophores et se propagent dans l'air. Elles sont ensuite installées sur les tissus végétaux blessés et germent en quelques heures (5 heures à 20°C) sur les feuilles mouillées ou en présence d'humidité d'au moins 95% (Petit, 2008). Un mycélium se développe et colonise des tissus. En arrivant au stade fructification, il produit les condiophores et le cycle est relancé.

IV-4- Conditions de développement

Dans la serre une humidité relative avoisinant 95% et des températures comprises entre 17°C et 23°C sont des conditions très propices aux attaques de *B. cinerea* (Blancard et *al.*, 2009). La germination des conidies est fortement affectée lorsque la température dépasse 30°C. Les plantes étiolées ou trop poussantes sont particulièrement vulnérables. Les cultures les plus précoces sont plus sujettes aux attaques du champignon.

IV-5- Symptômes et dégâts sur tomate

Tous les organes aériens de la tomate peuvent être affectés. Les symptômes sur les folioles se traduisent par des taches brun clair qui évoluent rapidement pour occuper la totalité de la feuille puis la tige. Les symptômes sur la tige apparaissent sous forme d'un chancre beigeâtre à brun clair qui se développe progressivement. L'infection de cette dernière résulte de la pénétration des spores du champignon à travers les blessures d'effeuillage (Williamson, 2007). Ainsi, la plante finit par mourir (Dik and Wubben, 2004 ; Blancard et *al.*, , 2009).

V- Effet de l'azote et des autres éléments nutritifs sur la sensibilité de la plante aux maladies.

Il est reconnu depuis longtemps que l'état nutritionnel de la plante peut déterminer sa sensibilité ou sa résistance aux maladies. La colonisation des plantes par des agents pathogènes nécessite l'utilisation efficace des ressources disponibles dans les tissus hôtes (Sandor et *al.*, 2000). Les nutriments minéraux agissent sur le développement et la croissance de la plante, ils agissent sur la distribution des molécules qui peuvent être utilisées par le pathogène et ils stimulent les mécanismes de défense chez la plante. En particulier, l'azote influence fortement les interactions hôte-pathogènes (Huber et Watson, 1974). Il peut être favorable ou défavorable au développement de la maladie en fonction de l'agent pathogène et de la plante.

Pour certains agents pathogènes, une forte disponibilité en azote défavorise le développement de la maladie. Hoffland et *al.*, (1999) ont montré qu'il y a une forte corrélation positive entre la sensibilité de la tomate à *B. cinerea* et le rapport C/N. Par exemple, les feuilles de tomates cultivées sous faible disponibilité en azote dont le rapport C/N est élevé (21 g/g) ont été environ 2,5 fois plus sensibles à la formation de lésion de *B. cinerea* que les feuilles dont le rapport C/N est faible (11 g/g) (Hoffland et *al.*, 1999). Cette relation entre le rapport C/N et la sensibilité à *B. cinerea* s'explique par le fait que les feuilles avec C/N élevé contiennent plus de glucides solubles qui sont corrélés positivement avec la sensibilité au pathogène.

Des études réalisées sur le blé ont montré qu'un niveau élevé d'azote favorise le développement d'oïdium sur le cultivar sensible (Shaner et Finney, 1977). Pour la fraise, les études ont montré que des concentrations élevées d'azote et de potassium dans la solution fertilisante favorisent le développement de l'anthracnose. Le cas contraire est observé à de fortes concentrations en Phosphore et en Calcium (Nam et *al*., 2006). Pour le concombre, l'addition de silice dans la solution nutritive avait un effet prononcé sur la résistance à l'oïdium *Sphaerotheca fuliginea (*Adatia et Besford, 1989). Pour la rose, l'augmentation de la concentration de calcium dans les tissus de la plante réduit sa sensibilté à *B. cinerea,* ceci s'explique par le fait que le calcium défavorise la capacité du champignon à utiliser certaines substances pour produire leur propres enzymes nécessaire pour sa survie (Volpin et Elad, 1991). Hoffland et *al.* (2000) ont montré qu'il y a une corrélation positive entre la concentration d'azote et la sensibilité des feuilles de tomate à *P. syringae* et à *O. neolycopersici.* Cependant, il n'y a pas de corrélation significative entre la concentration d'azote au niveau des racines et la susceptibilité de la tomate à *F. oxysporum.*

Matériels et Méthodes

I- Environnement de l'expérimentation et conduite de la culture

I- 1- Lieu de l'expérimentation

L'expérimentation a eu lieu sur trois sites différents de l'Institut National de la Recherche Agronomique : l'Unité Expérimentale d'Alénya, l'Unité de Pathologie Végétale d'Avignon et l'Unité Plantes et Systèmes de Cultures Horticoles (PSH) d'Avignon. Différents tests ont été effectués en serre et au laboratoire.

I- 2- Les principales caractéristiques de la serre de l'expérimentation

Elle a une superficie de 410 m^2. Elle est destinée à la culture de tomate à partir du mois de février. C'est une serre plastique de la société Filclair. Elle est à double paroi gonflable. Elle est équipée d'un système de chauffage à air pulsé et d'un système d'agrothermes constitué de tubes annelés en polypropylène de 25 mm de diamètre servant à faire circuler de l'eau à 30 à 40 °C.

L'aération et le chauffage de la serre sont déclenchés automatiquement en fonction de consignes de température (Tableau 3)

La serre est équipée de plusieurs réseaux de fertilisation et d'irrigation en goutte à goutte gérés par automatismes reliés à un ordinateur de contrôle. Cet automate permet d'enregistrer divers paramètres de fertilisation grâce à diverse sondes (volumes d'arrosage et de drainage, conductivité électrique et acidité de la solution fertilisante, etc.). L'arrosage est programmé à des heures fixes et en fonction de la quantité de lumière (rayonnement global).

I- 3- Conduite de la culture de tomate

Nous avons utilisé l'hybride de la tomate Climberley (Société S et G), greffé sur le porte-greffe Maxifort (Société de Ruiter) (Tableau 3). Le semis a été effectué le 24 novembre, le repiquage le 20 décembre et la mise en place le 7 janvier 2011.

La plantation de la tomate est faite en double rang et hors sol sur un substrat à base de laine de roche (MaXXima de la société Cultilène Société S et G).Les plantes sont palissées au fur et à mesure de leur croissance (voir Annexes 2 et 3).

I-3-1- Gestion du climat dans la serre

Les conditions climatiques sont analogues à celles d'une culture de production. (Voir tableau 4).

I- 3-2- Gestion phytosanitaire des maladies et ravageurs

Pour gérer les maladies et les ravageurs de la culture, on a adopté un système de protection intégrée utilisant des auxiliaires tels que les *Macrolophus caliginosus* contre les aleurodes. Des traitements contre l'oïdium ont été appliqués avec des pulvérisations de Systhane New (166 mL/hL de. myclobutanil).Une protection préventive contre *B. cinerea* était réalisée en appliquant systématiquement sur les plaies de taille une préparation de spores du champignon antagoniste *Microchium dimerun* L13 (dosée à 10^6 sp/ml). Les interventions contre l'oïdium et la pourriture grise ont été réalisés de manière à ne pas interférer avec les essais sur ces deux maladies (voir II-5-1)

Tableau 3: Conduite et calendrier des cultures de tomates dans la serre S30

	Porte-greffe	Greffon
Semis	23-nov-10	24-nov-10
Hybrides	Maxifort (De Ruiter)	Climberly (S et G)
Greffage	10-déc-10	
Repiquage	20-déc-10	
Dédoublement de têtes	non	
Pré-plantation dans la serre	07-janv-10	
Plantation	02-févr-11	
Densité de plantation	2,5 plants/m2	
Substrat de culture	Laine de Roche MaXXima (Cultilène)	
Mode de conduite	En " training" et en "V" (1 rang de substrat pour 2 rangs de tomate)	
chauffage	En basse température et air pulsé	
Consigne de nuit (chauffage)	17°C	
Aération	19 °C	
Apport de CO2	non	
Protection phytosanitaire	PBI (Protection Biologique Intégrée)	
Eclaircissage	5 fruits/ bouquet	
Début de récolte	2Mai	

Tableau 4 : Manipulations et mesures faites durant la période de l'expérimentation

Manipulations et mesures faites		Date
Fertilisation azotée	Début de comparaison des trois régimes de fertigation dans la serre S30	A partir de 21 février
Analyse de la composition minérale de la solution	Prélèvement de la solution dans le substrat pour l'analyse	4 prélèvements (4 avril, 3 mai, 7 juin et 4 juillet)
Inoculation oïdium	sur feuilles dans la serre	3 inoculations (05 avril, 10 mai et 22 juin)
	sur folioles au laboratoire	4 inoculations (05 avril, 10 mai, 01 juin, 06 juillet)
Inoculation de botrytis	sur chicots dans la serre	2 inoculations (17 mai, 18 juin)
	sur disques foliaires au laboratoire	2 inoculations (27 avril, 03 mai)
	sur fruits au laboratoire	2 inoculations (24 mai ,07 juillet)

I- 3-3- La gestion de la fertilisation

La serre est équipée de 3 réseaux d'arrosage (Figure 2) qui permettent de comparer l'effet des trois régimes de fertirrigation (4 meq/L, 8 meq/L et 16 meq/L) alimentant chacun un groupe de plantes. Les trois solutions nutritives sont mises en comparaison à partir du 21 février.

I- 3-4- Les solutions fertilisantes

Dans le but de comparer seulement les trois doses d'azote (4, 8, 16 meq/L), les trois solutions nutritives ont les mêmes doses en éléments fertilisants (P, K, Ca, Mg et Na) à l'exception des éléments azote, chlore et sulfate. Mais il est aussi nécessaire de maintenir une même conductivité électrique ("EC") entre les trois solutions (soit 2,7 mS/cm). Pour ce faire, nous avons compensé l'écart généré par les différentes concentrations en nitrate (NO_3^-) en ajustant les concentrations des anions SO_4^{2-} et de Cl^- (Tableau 3). Le suivi de l'EC a été fait régulièrement à l'aide de sondes placées au niveau des trois solutions d'apport et des trois solutions de drainage. La solution contenue dans le substrat et celles des trois apports étaient vérifiées chaque semaine afin de contrôler leur concentration et leur acidité.

I- 3-5- Le contrôle de la composition minérale de la solution nutritive

Pour évaluer la composition minérale de la solution nutritive, nous avons réalisé des prélèvements de la solution dans l'environnement racinaire des plantes pour chacun des trois régimes de fertirrigation à l'aide de seringues placées chacune au niveau de substrats de différentes plantes. Durant le stage, nous avons fait 4 prélèvements (4 avril, 3 mai, 7 juin et 4 juillet) (Tableau 4). Les 3 échantillons correspondant chacun à un régime de fertirrigation sont confiés à un laboratoire d'analyse privé pour analyser la composition minérale en différents éléments fertilisants : NO_3^-, $H_2PO_4^-$, Cl^-, SO_4^{2-}, HCO_3^-, NH_4^+, K^+, Mg^{++}, Ca^{++}.(voir Annexe 4)

I- 3-6- Analyse de la sève au niveau des feuilles

Nous avons réalisé des analyses régulières de la teneur en nitrate contenant dans la sève de la plante. Pour ce faire on a prélevé, pour chaque régime de fertilisation, une feuille par plante (la 1ère feuille adulte proche du dernier bouquet noué) sur chacune de 15 plantes réparties dans la serre et on n'a gardé que les pétioles (Brun-Zaoui, 2010). Chaque lot de 15 pétioles a ensuite été réparti en trois échantillons de cinq et chaque échantillon a été broyé afin d'obtenir un jus qui servira pour les analyses. Pour chaque échantillon, la disponibilité en nitrate a été mesurée au moyen de bandelettes Nitrachek associées à l'analyseur portable Rqflex 10 de la société Merck.

II- Effet du niveau de fertilisation azotée sur la production et la physiologie de la plante.

II-1- Prélèvement de feuilles et de plantes entières

Pour évaluer l'effet de la fertilisation azotée sur la physiologie de la plante, nous avons mesuré les paramètres suivant : la matière fraiche, la matière sèche et la composition minérale de certains tissus des plantes

Tableau 5 : Composition minérale des solutions d'apport pour les trois régimes de fertirrigation.

Réseaux de fertirrigation	Concentration des ions (mmoles/L)								
	NO_3^-	$H_2PO_4^-$	K^+	Ca_2^+	Mg^{2+}	SO_4^{2-}	Na^+	Cl^-	Ec d'apport mS/cm
Solution d'apport à 16 mmoles en nitrates/L de N	16	2,4	11,0	8,8	4,2	3,6	1,4	4	2,7
Solution d'apport à 8 mmoles en nitrates /L de N	8	2,4	11,0	8,8	4,2	3,6	1,4	12,1	2,7
Solution d'apport à 4 mmoles en nitrates/L	4	2,4	11,0	8,8	4,2	7,7	1,4	12,1	2,7

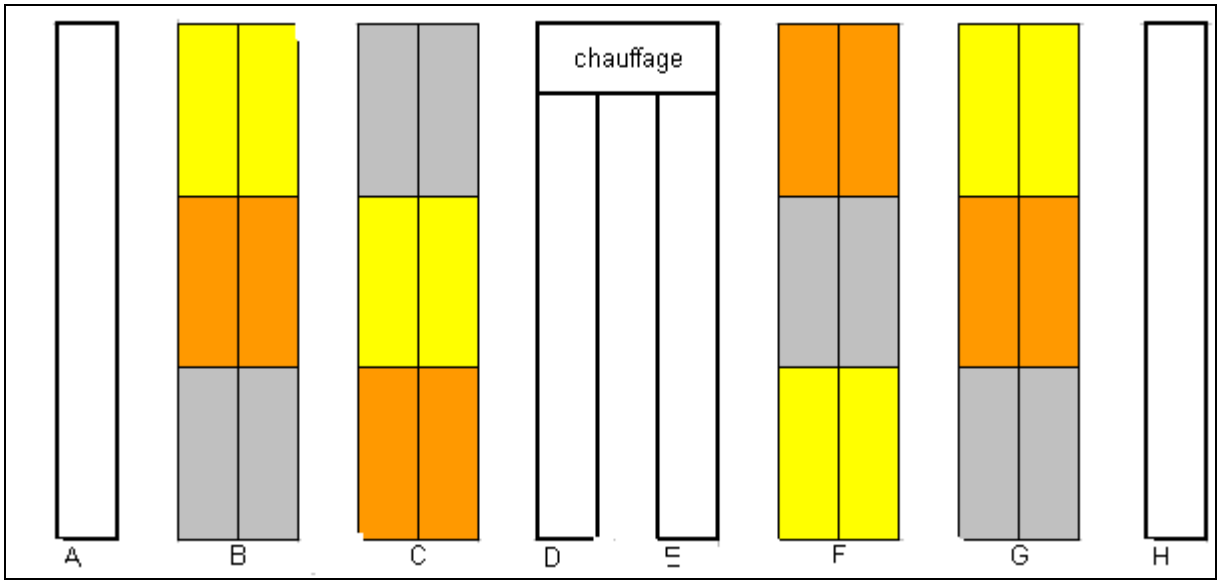


Figure 2: Dispositif de trois réseaux de fertirrigation dans la serre de l'expérimentation

Réseau 1 (4 mmoles/L)
Réseau 2 (8 mmoles/L)
Réseau 3 (16 mmoles/L)
Bordure hors essai

Les feuilles sont séparées en limbes et pétioles, pesées, mises en sachets et référencées. Après la mesure de la matière fraiche de chaque échantillon, ceux-ci sont séchées à 70°C pendant 48h.

D'autre part, nous avons prélevé des plantes entières répartie de manière homogène dans la serre, à raison de trois plantes par régime de fertirrigation. Les plantes sont séparées en tiges, en fruits et en feuilles et chaque échantillon est référencé, pesé et séché à 70°C pendant 48h.

II-2- Analyse de la composition minérale des tissus

Chacun des échantillons secs préparés selon la manière précédente est pesé puis expédiés au laboratoire d'analyse de l'unité PSH, INRA-Avignon pour l'analyse de la teneur en azote (N), en magnésium (Mg), en potassium (K) et en calcium (Ca) et également définir le rapport C/N. Après le séchage, les échantillons sont broyés, puis destinés à la minéralisation par l'acide nitrique et enfin destinés à l'analyse par le spectromètre.

II-3- Effet du niveau de fertilisation azotée sur le rendement en fruits.

Des suivis périodiques de la floraison des plantes et du rendement en fruits ont été réalisés dans six parcelles agronomiques de 6 plantes chacune, réparties sur deux lignes des rangs C et G (Voir Plan des parcelles, Annexe 5).

III- Tests de sensibilité à l'oïdium

III-1- Inoculation sur feuilles dans la serre

III-1-1- Matériel végétal

Pour chacun des trois régimes de fertirrigation, deux feuilles sont inoculées sur chacune de 12 plantes réparties d'une manière homogène dans la serre : une "feuille du bas" située au niveau de 2ème bouquet au dessus de celui en récolte et une "feuille du haut", la plus proche du dernier bouquet bien noué. Au total, 72 feuilles ont été inoculées lors de chacun de trois tests, réalisés les 10 avril, 10 mai et 21 juin 2011 (Voir plan des inoculations dans la serre, Annexe 6).

III-1-2- Préparation de l'inoculum

L'inoculation nécessite la préparation d'une suspension de spores d'oïdium. Pour cela, à partir de plants oïdies (produits en conditions contrôlées et fournis par l'Unité de Pathologie Végétale) on prélève 5 ou 6 jeunes folioles présentant des taches, on les met dans une bouteille de Schott contenant environ 200 mL d'eau distillée stérile et on agite pour bien séparer les spores. On évalue la concentration de la suspension à l'aide d'une cellule de Malassez et on ajuste à la dose voulue (5000 spores/ml) avec de l'eau distillée stérile. La suspension obtenue est utilisée immédiatement pour inoculer les plantes.

III-1-3- Inoculation dans la serre

L'inoculation consiste à pulvériser d'une manière homogène la suspension préparée précédemment sur toute la surface supérieure du limbe (Figure 3a). En quantifiant les volumes de suspension utilisés, il a été déterminé que chaque feuille reçoit en moyenne entre 15 et 20 ml de suspension.

III-1-4- Notations des attaques d'oïdium

Quinze jours après l'inoculation, des taches d'oïdium sont observées sur la surface de chaque feuille inoculée. A cet effet, les feuilles inoculées sont prélevées et sont soumises à l'observation. On procède de la manière suivante :

- Attribution d'une note d'attaque globale à chaque feuille (échelle de 1 à 9) en se basant sur une échelle mise au point pour l'oïdium du melon (Voir annexe 7).
- Comptage du nombre de taches d'oïdium sur chaque feuille (Figures 3b et 3c).
- Mesure du diamètre de 10 taches individuelles sur chaque feuille à l'aide d'un pied à coulisse.
- Prise de photo de chaque feuille en vue d'estimer sa surface totale à l'aide du logiciel "ASSESS 2.0"(APS Press, St Paul, MN, USA). **(**Cette information permet de calculer le nombre de taches par unité de surface foliaire.)
- Prélèvement de 25 taches d'oïdium sur chacune des feuilles inoculées, en vue de l'estimation de la sporulation. Ces prélèvements sont mis dans un flacon contenant 2 ml d'une solution alcoolisée (environ 10% d'éthanol) contenant du Tween 80 (100 µL/L). La concentration de la solution est ensuite évaluée à l'aide d'une cellule de Malassez .Au total, 36 dénombrements de sporulation ont été réalisées pour la 1ère inoculation d'oïdium (une feuille par plante) et 72 pour la 2ème inoculation d'oïdium (2 feuilles par plante).

III-1-5- Eradication de l'oïdium

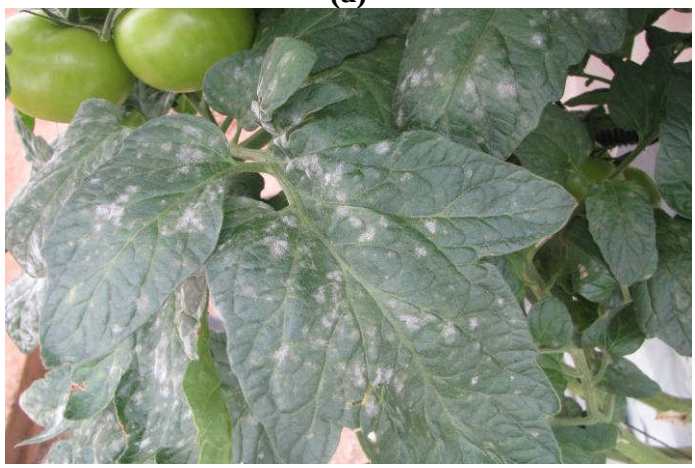
Trois tests d'inoculation étaient prévus pendant la durée du stage. Pour éviter le développement généralisé d'une épidémie dans la serre après l'inoculation des plantes, des traitements anti-oïdiens éradicatifs ont été effectués après chaque test. A chaque fois, l'oïdium a été efficacement éradiqué par une succession de 2 à 3 traitements au Systane New (à 7 jours d'intervalle) généralisés à l'ensemble de la serre.

III-2- Inoculation sur feuilles au laboratoire

III-2-1- Matériel végétal

Trois séries de tests ont été réalisés en laboratoire. Lors de chaque test, des folioles appartenant à un même niveau foliaire (au niveau du 2ème bouquet au dessus de celui en récolte) ont été prélevées en serre sur des plantes de chacun des 3 régimes de fertilisation (soit 12 folioles par niveau d'azote, soit un total de 36 folioles). Les folioles sont ramenées au laboratoire et sont déposées dans des boites en polystyrène transparent à raison de 3 folioles (issue chacune d'une plante d'un régime de fertigation) par boite (Figure 4 a).

(a)



(b)

(c)

Figure 3: Taches d'oïdium observées sur feuilles inoculées.

a)- Inoculation par pulvérisation de la suspension des spores d'oïdium sur feuilles. b)- Taches d'oïdium sur feuilles dans la serre. c)- Photo pour le traitement par le logiciel ASSESS en vue d'estimer la surface totale d'une feuille.

III-2-2- Inoculation

Cette inoculation se fait par à l'aide d'inoculum sec (Figure 4d). Elle consiste à souffler sur des folioles attaquées par l'oïdium, placées au dessus d'une tour d'inoculation constituée d'un tube en polystyrène d'une hauteur de 1 m et de diamètre de 25 cm (Figure 4c). Au fond du tube est déposée une boite ouverte contenant les 3 folioles et une cellule de Malassez (Figure 4b) servant à compter le nombre de spores déposées. Après 5 minutes d'attente pour la déposition des spores, le tube est retiré, la boite est refermée et les spores présentes sur la cellule de Malassez sont dénombrées permettant ainsi d'estimer un taux d'inoculation en spores/mm².

III-2-3- Notation de l'oïdium sur feuilles au laboratoire

La notation de l'oïdium inoculé sur les feuilles au laboratoire est identique à la notation de l'oïdium inoculé sur feuilles dans la serre.

a) **b)**

c) **d)**

Figure 4 : Inoculation d'oïdium sur feuilles au laboratoire.

a)- Dépôt des folioles dans la boite en plastique. b)- et c)- Tube en polystyrène. d)- Soufflage sur feuille attaquée par l'oïdium.

IV- Tests de sensibilité à *Botrytis cinerea*

IV-1- Les souches de *B. cinerea* utilisées

Six souches de *B. cinerea* ont été utilisées dans ce travail. Trois souches (BC1, BC43 et BC44) sont sélectionnées pour leur haut niveau d'agressivité sur la tomate et trois autres souches (BC21, BC84 et NhPm4) pour leur niveau d'agressivité modéré (Abro et Nicot, 2009 ; Lecompte et *al.*, 2010). Chaque souche a été cultivée sur un milieu de culture Potato Dextrose Agar (PDA; Difco, Detroit Michigan).

IV-2- Tests sur disques foliaires en laboratoire

IV-2-1- Matériel végétal

Pour réaliser ce test, nous avons prélevé en serre des feuilles appartenant à un même niveau foliaire (2 bouquet au dessus de celui en récolte) à partir des plantes de chacun des trois régimes de fertirrigation. Les feuilles sont ramenées au laboratoire et sont découpées en disques foliaires de 2,5 cm de diamètre à l'aide d'un emporte pièce et en prenant le limbe au niveau de la nervure centrale (Figure 5a). Les disques sont déposés dans des boites en polystyrène transparent contenant du papier imbibé d'eau distillée (Figure 5b). Nous avons utilisé quatre lignes et six colonnes correspondant chacune à une souche de botrytis

IV-2-2- Préparation de l'inoculum

Pour préparer l'inoculum, nous avons repiqué chacune des six souches sur milieu PDA en boite de Pétri (Figure 5c). Le repiquage consiste à exciser un implant, de 2mm de diamètre à l'aide d'un emporte-pièce stérile à partir de la souche mère. L'implant est déposé au centre d'une boite de Pétri contenant du milieu PDA et les boites sont incubées à 21°C pendant 3 jours

IV-2-3- Inoculation

Après trois jours d'incubation, on prélève un implant mycélien et on le dépose au centre de chaque disque foliaire à l'aide de deux scalpels stériles (Figure 5d). On a utilisé quatre disques foliaires pour chacune des six souches et on a préparé trois boites pour chacun des trois régimes de fertirrigation, soit un total de 9 boites. Les boites sont incubées à température ambiante au laboratoire de l'INRA d'Alénya.

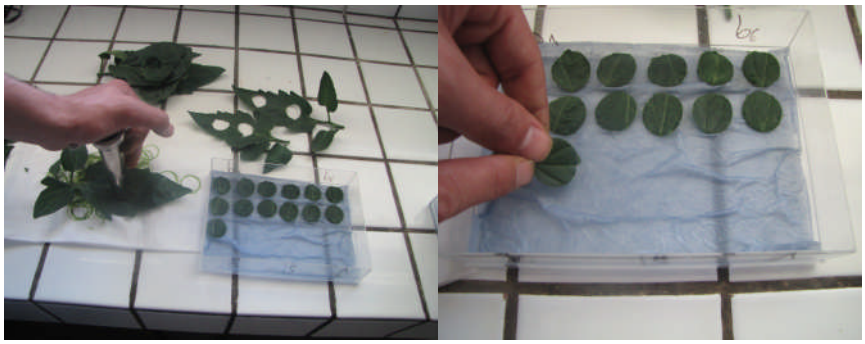
IV-2-4- Notation

La notation d'attaque consiste à estimer la surface de lésion sur chaque disque foliaire. Pour ceci, des photos ont été prises à différents intervalles du temps (24h, 48h et 72h) après inoculation (Figure 5e). L'analyse de ces images est faite à l'aide de logiciel « ASSESS 2.0 » (APS Press, St Paul, Minnesota).

IV-3- Tests sur fruits au laboratoire

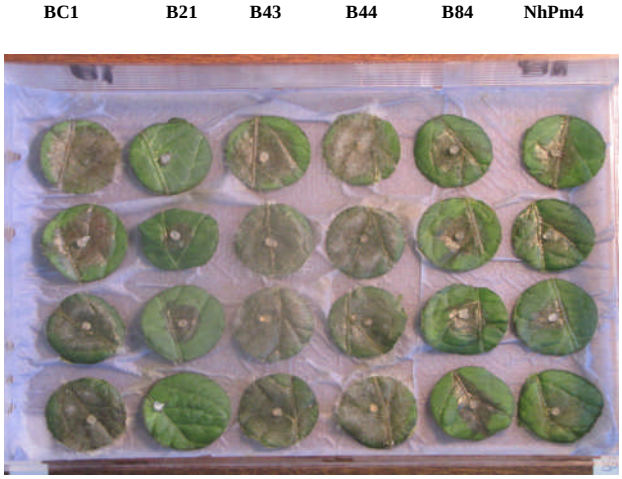
II-3-1- Préparation de l'inoculum

Les tests ont été réalisés avec les six souches de *B. cinerea* décrites précédemment. La préparation des implants mycéliens a été faite de la même manière que pour l'inoculation sur disques foliaires



a)- b)-

c)- d)-



e)-

Figure 5 : Inoculation de *B. cinerea* sur disques foliaires.

a)- et b)- Préparation des disques foliaires dans des boites. c)- et d)- Dépôt des implants mycéliens sur les disques foliaires. e) - Développement des lésions sur les disques.

IV-3-2- Inoculation

Pour chacun des trois régimes de fertirrigation, 60 fruits homogènes ont été récoltés en serre à partir de différentes plantes (1er fruit du bouquet, mûr et de bon calibre), et ramenés au laboratoire pour être inoculés (Figure 6a). Après avoir fait un trou de 2 mm de profondeur au niveau de chaque fruit à l'aide de l'extrémité d'un cône de micropipette, on dépose un implant mycélien à l'aide d'un scalpel stérile (Figures 6b et 6c).

IV-3-3- Notation

La notation d'attaque sur fruits consiste à mesurer à l'aide d'un pied à coulisse le diamètre de la lésion qui se développe autour de chaque point d'inoculation (Figure 6d). On a fait trois notations à 3, 4 et 5 jours après chaque inoculation.

IV-4- Tests sur plaies d'effeuillage dans la serre

IV-4-1- Préparation de l'inoculum (Suspension des spores)

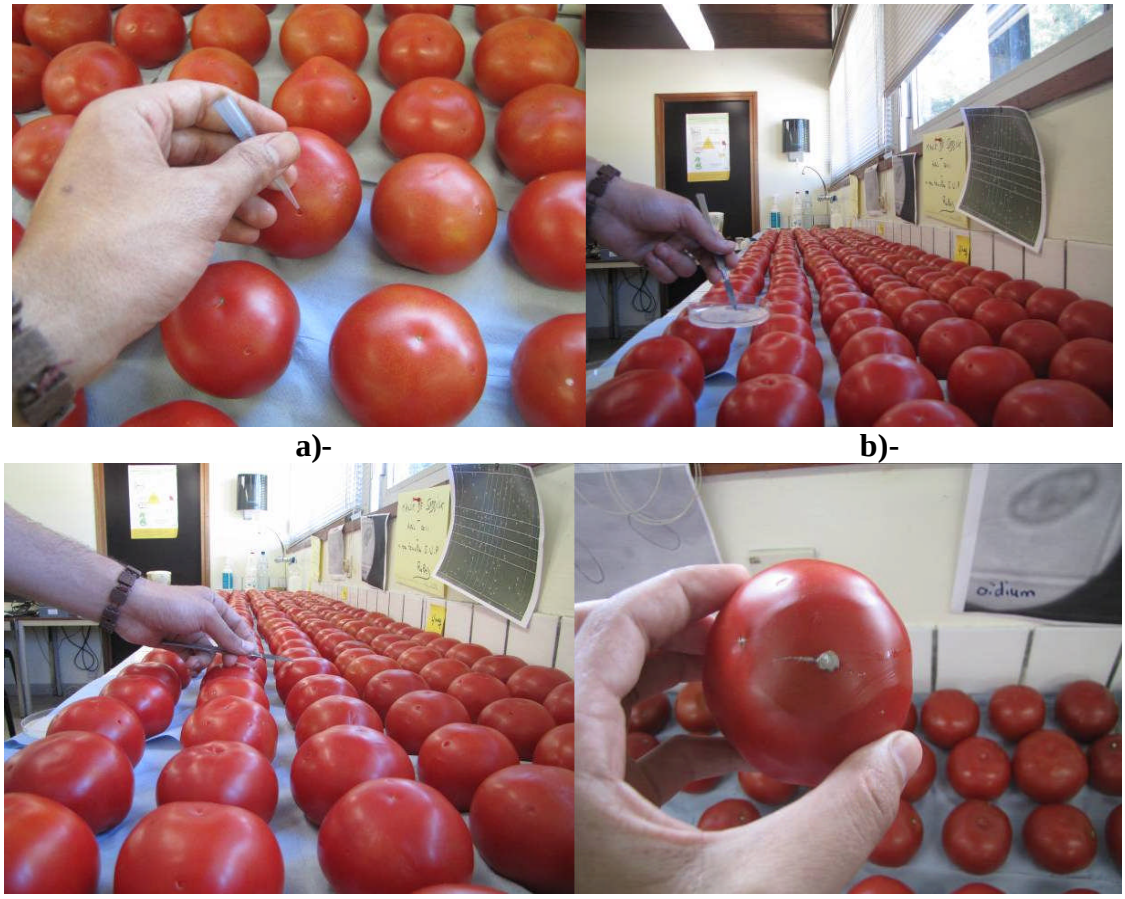
Nous avons utilisé une culture de la souche BC1, âgée de 15 jours. Pour préparer la suspension, on ajoute 6 ml d'eau stérile dans la boite de Pétri et on racle la surface du substrat à l'aide d'une spatule de Drigalski stérile, afin de libérer les spores dans la solution (Figure 7a). La suspension obtenue est transférée dans un tube en verre stérile contenant des billes en verre et on agite 30 secondes à la main en vue de séparer les spores du mycélium. La suspension obtenue est filtrée à l'aide d'un filtre de 30µm de porosité pour éliminer le mycélium et les conidiophores. On dilue la concentration du filtrat obtenu à un 1/10ème, on évalue sa concentration à l'aide d'une cellule de Malassez et on l'ajuste à la dose voulue avec de l'eau distillée.

IV-4-2-Inoculation

L'inoculation se fait sur des plaies d'effeuillage (chicots). Nous avons choisi 12 plantes par régime de fertirrigation, soit un total de 36 plantes réparties de manière homogène dans toute la serre. Sur chaque plante à inoculer, on coupe les trois premières feuilles du bas en laissant volontairement des "chicots" de pétioles de 1cm de long pour favoriser le développement de la maladie (Decognet et *al*, 2010). On dépose 10µl de la suspension sur chaque plaie à l'aide d'une micropipette (Figure 7b). Nous avons réalisé deux essais (le 17 mai et le 18 juin)

VI-4-3- Notation

Suite à l'inoculation, le champignon se développe sur les chicots de pétioles (Figure 7c). La notation est réalisée durant les 15 jours qui suivent l'inoculation. Elle consiste dans un premier temps identifier la présence ou l'absence de développement du champignon puis à mesurer la longueur des chancres se développant sur les tiges à l'aide d'un pied à coulisse. L'intervalle entre deux notations consécutives est de 3 jours.



a)- **b)-**

c)- **d)-**

Figure 6 : Inoculation de *B. cinerea* sur fruits au laboratoire.
a)- Incision d'un trou au niveau de chaque fruit. b)- et c)- Dépôt de l'implant dans chaque trou. d)- Développement de la lésion sur fruit.

IV-4-4- Eradication

Après chacune des deux séries de notations, les chicots sont coupés et les chancres sont grattés et éradiqués par un badigeonnage de la plaie avec un produit à base de spores de *M. dimerum* (Antibot en cours d'homologation) de la société Agrauxine (Figure 7d).

V- Analyse statistique

Les analyses statistiques ont été faites à l'aide du logiciel Statistica. L'effet de la fertilisation azotée sur le développement d'oïdium a été évalué par une analyse de variance à un facteur (ANOVA) à 5% de risque et il a été suivi du test Student Newman Keuls (SNK) quand l'effet est significatif. De même, l'effet de la fertilisation azotée sur le développement de *B. cinerea* a été évalué par l'analyse de variance à deux facteurs (Régime de fertirrigation et souche de *B. cinerea*) et suivi du test de Student Newman et Keuls quand l'effet est significatif.

a)- **b)-**

c)-

d)-

Figure 7 : Inoculation et développement de botrytis sur chicots dans la serre.
a)- Préparation de la suspension de spores. b)- Dépôt de la suspension de spores. c)- Développement de botrytis sur chicot et tige. d)- Eradication de *B. cinerea* et traitement par microdochium.

Résultats et discussion

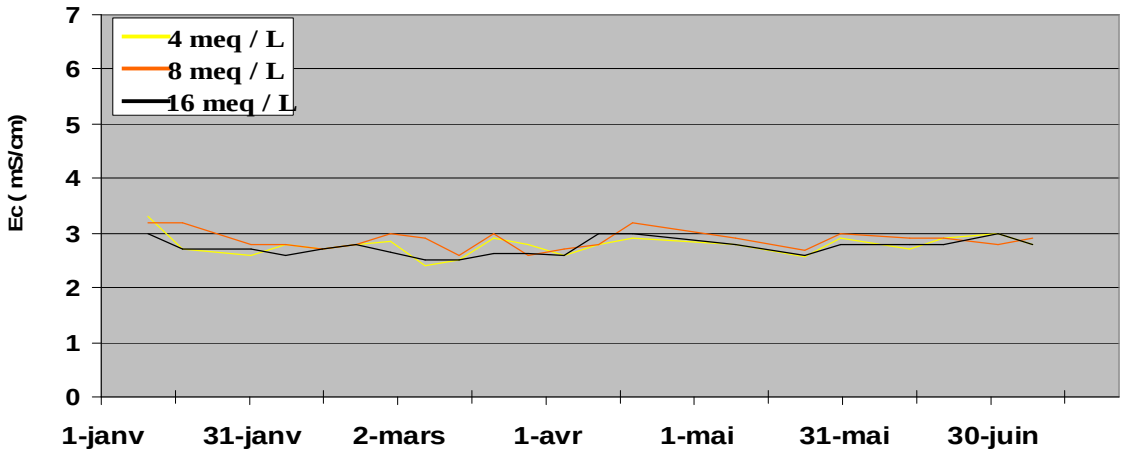


Figure 8: Evolution de la conductivité électrique (Ec) de la solution apportée pour chacun des 3 réseaux d'arrosage

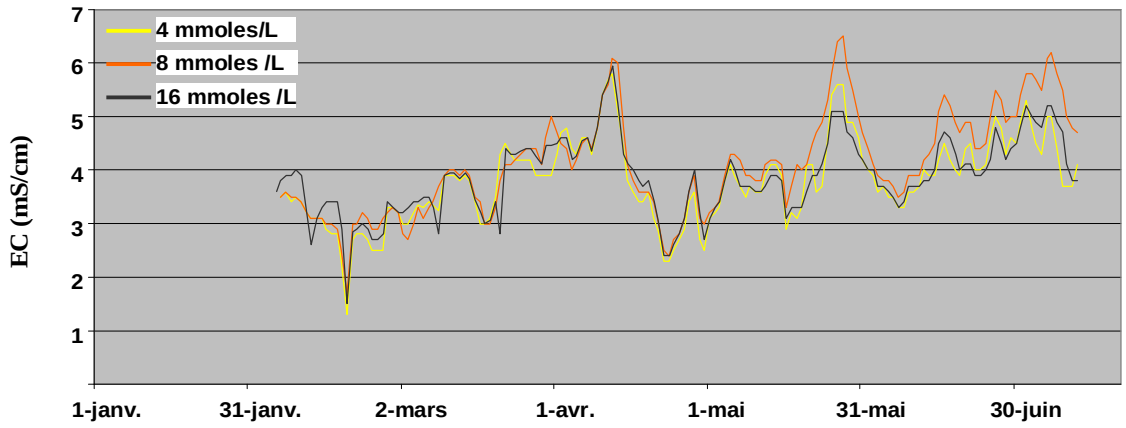


Figure 9 : Evolution de la conductivité électrique de la solution drainée

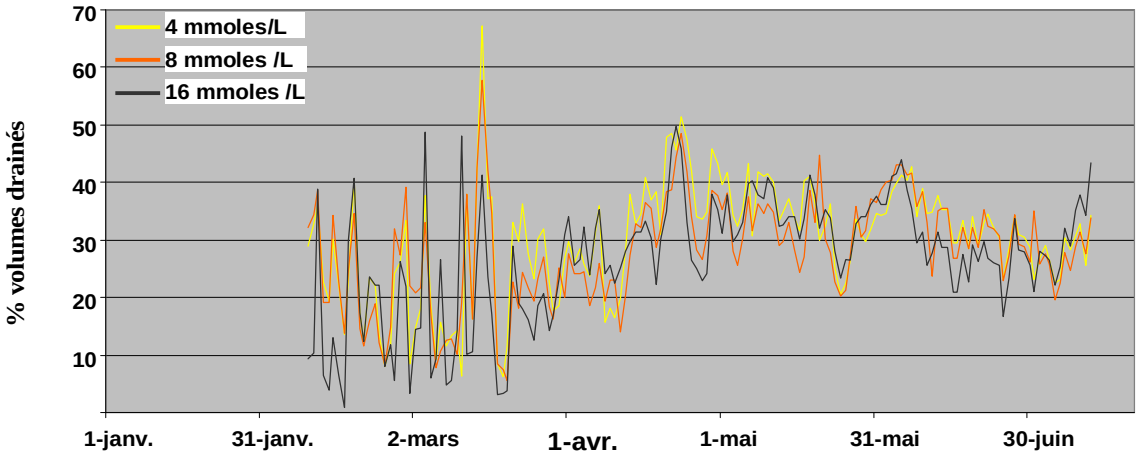


Figure 10 : Proportions des volumes (en %) drainés par rapport aux volumes apportés

I- Composition minérale de la solution nutritive

L'objectif initial était de maintenir la même conductivité électrique (EC : 2,7 ms/cm) à l'apport pour les 3 régimes de fertirrigation. D'une manière générale cet objectif a été bien contrôlé tout au long de l'essai (Figure 8) : les valeurs d'EC présentent des écarts faibles par rapport au protocole (écarts +/- 10 à 15 %).

Cette stabilité des EC au niveau des apports ne se retrouve pas au niveau des drainages. On observe (Figure 9) que dans l'ensemble les valeurs d'EC des solutions drainées (rejet hors de la serre).augmentent régulièrement tout au long de la culture (de 2 à 6 mS/cm). Pour chacun des réseaux de fertilisation on note 2 pics (mi-avril et fin-mai) qui sont suivis de remontées régulières. Ces fluctuations des valeurs d'EC sont similaires entre les réseaux. En effet, on constate peu d'écart entre les 3 réseaux à l'exception de la fin de culture (à partir de mi-mai) où le réseau irrigué par 8 mmoles /L montre des valeurs d'EC régulièrement les plus élevées (écarts de +10% à +15%).

Le taux de drainage est considéré comme un facteur principal d'action pour la gestion de la conductivité électrique de la solution de drainage de la tomate sous serre et hors sol. Pour autant (Figure 10) on n'observe quasiment aucun écart des taux de drainage entre les 3 réseaux. On peut remarquer de très fortes fluctuations (de 0 à 60%) en début de culture jusqu'à mi mars (en période hivernale de faible arrosage, où le taux de drainage illustre fort mal les réels besoins des plantes). A partir de la-mi-mars, les taux de drainage sont plus stables (fluctuation autour de 30% en moyenne) et les 3 réseaux ne présentent que de très faibles écarts entre eux.

La solution nutritive contenue dans les substrats à été prélevée et analysée à 4 dates. Le tableau 6 récapitule les résultats obtenus. L'interprétation de ces résultats est délicate, les concentrations (EC) des solutions n'étant pas les mêmes, c'est pour cela que le tableau 7 récapitule ces résultats avec une concentration identique (EC= 3 mS /cm) de la solution. Dans ce tableau 7, les cases grisées identifient les valeurs présentant de forts écarts (>20%) entre les réseaux au sein de chaque date. Ces écarts sont principalement corrélés avec les teneurs différentes des solutions d'apports, en ce qui concerne les éléments $N0_3^-$, Cl^- et SO_4^{2-}. Les 2 autres écarts du 2 avril ($H_2PO_4^-$) et du 7 juin (Mg^{2+}) sont difficiles à interpréter. En règle générale, on peut considérer que les autres écarts (< 20%) ne sont pas significatifs entre les autres éléments minéraux au sein de chaque date.

On constate également que ces concentrations évoluent différemment dans le temps. Certains éléments minéraux demeurent très stables (Na^+), d'autres présentent un palier en mai et en juin (Ca^{2+}), d'autres augmentent constamment (K^+), ou augmentent puis chutent lors du dernier contrôle ($H_2PO_4^-$ et Mg^{2+}). La solution d'apport mise en œuvre dans cet essai n'a jamais été modifiée durant toute la durée de l'expérimentation. Elle correspond en théorie aux besoins pour un stade phénologique des plantes de floraison du 2ème bouquet jusqu'à la floraison du 6ème bouquet. Toutefois cette remarque ne peut que partiellement expliquer certaines des observations précédentes.

Tableau 6 : Composition minérale de la solution nutritive dans l'environnement racinaire des plantes

Date	Réseau de fertirrigation	Concentrations en ions (mMoles/L)									EC (mS/cm)
		NO_3^-	$H2PO_4^-$	Cl^-	SO_4^{--}	HCO_3^-	K^+	Mg^{++}	Ca^{++}	Na^+	
02 avril	4 mmoles/L	0,08	1,74	17,12	9,31	1,9	9,67	4,22	14	1,87	3,08
	8 mmoles/L	0,14	1,61	34,09	3,43	3,5	13,38	6,54	18,86	3,31	4,6
	16mmols/L	20,93	2,86	10,29	4,43	3	15,7	7,22	16,73	2,73	4,47
03 maï	4 mmoles/L	0,43	2,24	19,01	15,38	0,05	11,58	4,43	18,67	1,37	3,49
	8 mmoles/L	2,97	2,49	20,66	4,42	0,05	11,15	4,43	18,49	1,29	3,48
	16 mmoles/L	17,12	2,66	8,99	4,95	0,05	12,97	5,19	17,96	1,1	3,55
07 juin	4 mmoles/L	0,63	3,32	24,74	13,82	3,1	18,75	6,35	22,8	2,38	4,93
	8 mmoles/L	5,32	3,06	23,77	5,22	3,4	17,3	9,87	21,75	2,05	4,56
	16 mmoles/L	25,31	3,74	7,85	5,28	3,1	19,43	6,89	20,77	1,8	4,74
07 juillet	4 mmoles/L	0,22	0,21	31,7	13,22	2,8	24,01	2,37	24,78	2,6	5,36
	8 mmoles/L	7,12	0,15	33,89	5,19	3,8	23,98	2,02	24,92	2,38	5,56
	16 mmoles/L	35,54	0,15	11,9	3,44	3,5	27,26	2,15	21,43	2,21	5,58

Tableau 7 : Composition minérale de la solution nutritive dans l'environnement racinaire des plantes, lorsque les valeurs initiales sont ramenées par calcul (règle de 3) à une EC de 3 mS/cm pour chaque réseau.

Date	Réseau de fertirrigation	Concentrations en ions (mMoles/L)									EC (mS/cm)
		NO_3^-	$H2PO_4^-$	Cl^-	SO_4^{--}	HCO_3^-	K^+	Mg^{++}	Ca^{++}	Na^+	
02 avril	4 mmoles/L	0.08	1.69	16.68	9.07	1.85	9.42	4.11	13.64	1.82	3.00
	8 mmoles/L	0.09	1.05	22,.23	2.24	2.28	8.73	4.27	12.30	2.16	3.00
	16 mmols/L	14.05	1.92	6.91	2.97	2.01	10.54	4.85	11.23	1.83	3.00
03 maï	4 mmoles/L	0.37	1.93	16.34	13.22	0.04	9.95	3.81	16.05	1.18	3.00
	8 mmoles/L	2.56	2.15	17.81	3.81	0.04	9.61	3.82	15.94	1.11	3.00
	16 mmols/L	14.47	2.25	7.60	4.18	0.04	10.96	4.39	15.18	0.93	3.00
07 juin	4 mmoles/L	0.38	2.02	15.05	8.41	1.89	11.41	3.86	13.87	1.45	3.00
	8 mmoles/L	3.50	2.01	15.64	3.43	2.24	11.38	6.49	14.31	1.35	3.00
	16mmols/L	16.02	2.37	4.97	3.34	1.96	12.30	4.36	13.15	1.14	3.00
07 juillet	4 mmoles/L	0.12	0.12	17.74	7.40	1.57	13.44	1.33	13.87	1.46	3.00
	8 mmoles/L	3.84	0.08	18.29	2.80	2.05	12.94	1.09	13.45	1.28	3.00
	16 mmols/L	19.11	0.08	6.40	1.85	1.88	14.66	1.16	11.52	1.19	3.00

En effet, il est difficile d'expliquer l'augmentation de K^+ alors que la solution d'apport en doit être déficitaire Quoi qu'il en soit, ces concentrations de la solution dans les substrats sont restées à des niveaux acceptables pour la croissance des plantes à l'exception du cas particulier de l'azote pour le traitement de 4 mmoles/L. En effet, les teneurs en NO_3^- de la solution contenue dans les substrats de ce réseau à 4 mmoles/L sont restées durant toute la culture à des valeurs voisines de zéro. La totalité ou presque de l'azote apportée par la solution nutritive a ainsi été consommée par les plantes de ce réseau. Malgré cela, ces plantes onussi à produire de façon relativement correcte Les taux de drainage, qui sont relativement élevés (30%), ont contribué à assurer une alimentation suffisante en azote pour ces plantes.

II- Effet de la fertilisation azotée sur la physiologie de la plante

II-1- Matière fraiche et matière sèche

II-1-1- Feuilles prélevées

Le poids frais des limbes était sensiblement le même pour les plantes des trois régimes pour les trois tests réalisés, alors que celui des pétioles était légèrement plus élevé pour les plantes des régimes R3 et R2 que pour les plantes de régime R1, avec des différences significatives ($p<0,05$) pour deux des trois répétitions (Tableau 8). Une seule différence significative a été observée pour le poids sec des limbes. Pour un des trois tests réalisés, celui-ci était plus élevé pour les plantes des régimes R3 et R2 que pour celle du régime R1. Ces résultats rejoignent dans leurs grandes lignes ceux de Bénard (2009) qui a constaté que le poids frais des limbes foliaires de plants de tomate conduits en hors sol, était sensiblement similaire pour des plantes soumises à deux régimes contrastés de fertilisation azotée (7 et 15 mmoles de NO_3^- par litre). Par ailleurs, Masson et *al.* (1990) ont constaté que la fertilisation azotée accroit la masse sèche aérienne et diminue le pourcentage de matière sèche de la partie aérienne

II-1-2- Plantes entières

Pour un des deux tests réalisés, le poids frais des feuilles et des fruits était significativement ($p<0,05$) plus élevé pour les plantes des régimes 16 mmoles/L et 8 mmoles/L que celles du régime 8 mmoles/L, tandis qu'aucune différence significative n'a été observée pour le poids frais des tiges (Tableau 9).

II-1-3- Surfaces foliaires

La surface foliaire a augmenté avec le niveau d'azote. En effet, pour les deux tests réalisés, les feuilles prélevées sur les plantes des régimes 8mmoles/L et 16 mmoles/L avaient une surface systématiquement plus grande que celles du régime R1, avec une différence significative observée pour l'un des deux tests (Tableau 10). Ce paramètre évolue dans le même sens que la matière fraiche et la matière sèche.

Tableau 8 : Effet du régime de la fertirrigation sur le poids frais et le poids sec des feuilles.

		Poids frais (grammes)				Poids sec (grammes)			
		R1 [x]	R2	R3	P[z]	R1	R2	R3	P
Test 1	Limbes	85,56 ± 6,15 [y]	98,07 ± 2,94	100,94 ± 3,53	0,05	16,82 ± 0,64	17,19 ± 0,90	17,76 ± 0,52	0,64
	Pétioles	42,62 ± 3,25 A	54,73 ± 5,59 AB	54,48 ± 2,29 B	0,07	10,85 ± 0,45	11,46 ± 0,23	11,91 ± 0,21	0,08
Test 2	Limbes	102,18 ± 8,15	135,24 ± 16,14	144,11 ± 11,04	0,06	17,53 ± 1,62 A	22,15 ± 1,31 B	23,06 ± 0,9 B	0,02
	Pétioles	36,05 ± 2,09A	46,02 ± 4,24 B	53,83 ± 2,60 B	0,02	11,45 ± 1,09	12,22 ± 0,28	12,48 ± 0,50	0,60
Test 3	Limbes	36,19 ± 1,59	39,73 ± 1,40	31,40 ± 0,51	0,41	3,31 ± 0,45	3,84 ± 0,42	3,53 ± 0,20	0,79
	Pétioles	11,84 ± 3,70	13,55 ± 6,33	11,39 ± 1,53	0,45	1,15 ± 0,13	1,38 ± 0,10	1,19 ± 0,11	0,33

x : régimes de fertirrigation R1 : 4 mmoles de nitrate par litre ; R2 : 8 mmoles/L ; R3 : 16 mmoles/L.

y : Moyenne de 8 échantillons d'une feuille ± erreur standard de la moyenne.

z : Valeur P de l'analyse de variance.

Pour un test donné, des lettres différentes indiquent une différence significative (p=0,05) selon le test de Student Newman et Keuls.

Tableau 9 : Effet de la fertilisation azotée sur la matière fraiche des plantes entières.

Test	Régimes	poids						Nombre de feuilles
		Feuilles	P	Tige	P	Fruits	P	
Test 1	R3	(*) 1041,52 ± 35,55 b	0,02	783,24 ± 26,92	0,07	3741,71 ± 267,09 c	0,00	20,00
	R2	970,55 ± 61,99 a		706,83 ± 72,29		3395,62 ± 166,99 b		18,00
	R1	899,48 ± 94,36 a		679,42 ± 53,98		3192,64 ± 301,31 a		18,00
Test 2	R3	853,84 ± 53,29	0,28	669,05 ± 49,93	0,16	2957,08 ± 146,03	0,09	18,00
	R2	849,96 ± 53,09		689,92 ± 29,88		2677,20 ± 196,58		18,00
	R1	837,83 ± 63,96		651,74 ± 24,04		2462,14 ± 290,41		18,00

(*) Moyenne de 3 plantes ± erreur standard.

Pour un test donné, des lettres différentes indiquent une différence significative (p=0,05) au test de SNK. R1 (4 mmoles NO_3^- /L), R2 (8 mmoles NO_3^-/L), R3 (16 mmoles NO_3^- /L).

Tableau 10 : Effet de la fertilisation azotée sur la surface foliaire (en cm^2).

	Régime de fertirrigation		
	R1	R2	R3
Test 1	(*) 846,37 ± 91,45 a	791,32 ± 78,42 a	1174,07 ± 126,01b
Test 2	736,19 ± 56,01 NS	819,00 ± 58,39 NS	911,00 ± 79,26 NS

(*) Moyenne de 24 feuilles ± erreur standard

Pour un test donné, des lettres différentes indiquent une différence significative (p=0,05) au test de SNK. R1 (4 mmoles NO_3^- /L), R2 (8 mmoles NO_3^-/L), R3 (16 mmoles NO_3^-/L)

II-1-3- Rendement en fruits

La première récolte a été réalisée début mai. Le rendement cumulé en fruits commercialisés (sous forme de grappes et en vrac) est resté systématiquement inférieur pour les plantes soumises au régime R1 (4 mmoles/L) que pour celles des régimes R2 et R3 (8 et 16 mmoles/L), avec cependant des différences statistiquement non significatives (P=0,11; Figure 11). Les rendements très similaires observés pour les doses d'azote 8 et 16 mmoles/L sont compatibles avec ceux de Tremblay et Perron (1991) qui ont constaté que l'augmentation de la fertilisation azotée de tomate peut se répercuter sur la composition des tissus foliaires sans qu'il ait toutefois d'effet positif sur le rendement.

II-2- Concentration en nitrate de la sève

La concentration en nitrate était plus élevée dans la sève des pétioles prélevés à partir des plantes conduites sous le régime le plus riche en azote (16 mmoles/L; Figure 12). Des différences significatives ont été constatées entre les trois régimes de fertilisation pour la plupart des tests réalisés, indiquant qu'une fertilisation azotée différente peut entrainer une différence importante de concentration en nitrate dans la sève de la plante.

II-3- Composition minérale des tissus de feuilles, de tiges et de fruits

Les résultats correspondant à cette partie du mémoire sont en cours d'élaboration vu les contraintes que connait le laboratoire d'analyse de la composition minérale. Ils seront présentés à l'oral le jour de la soutenance.

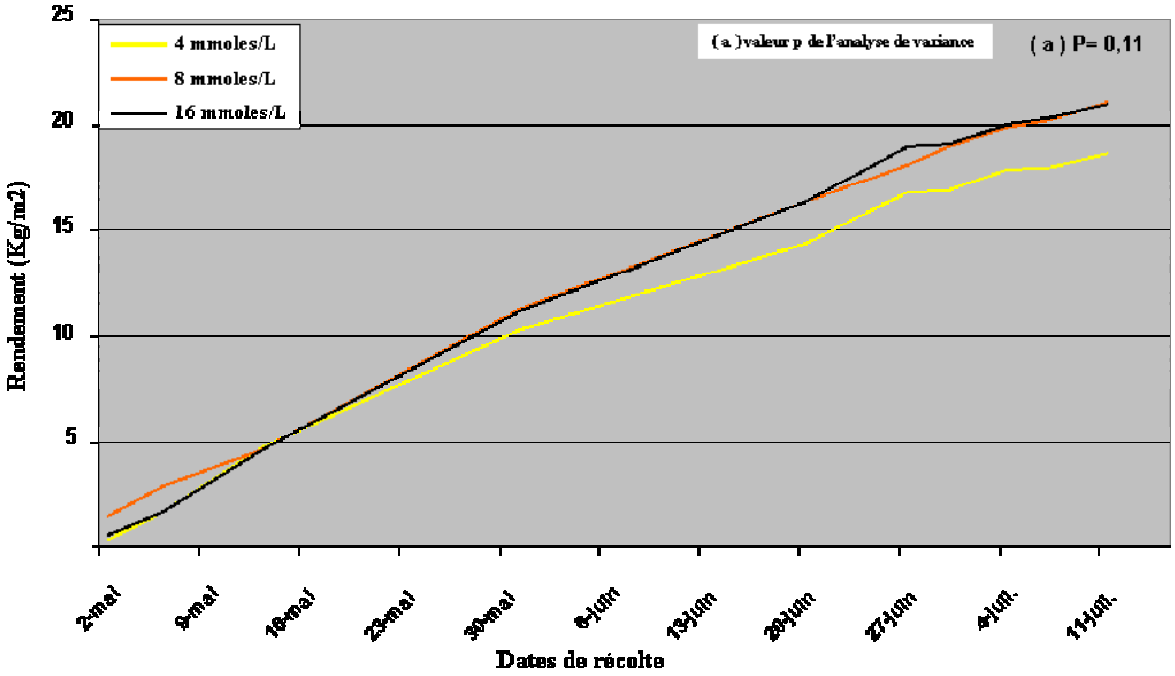


Figure 11: Evolution du rendement cumulé en fruits commercialisés via grappes et vrac.

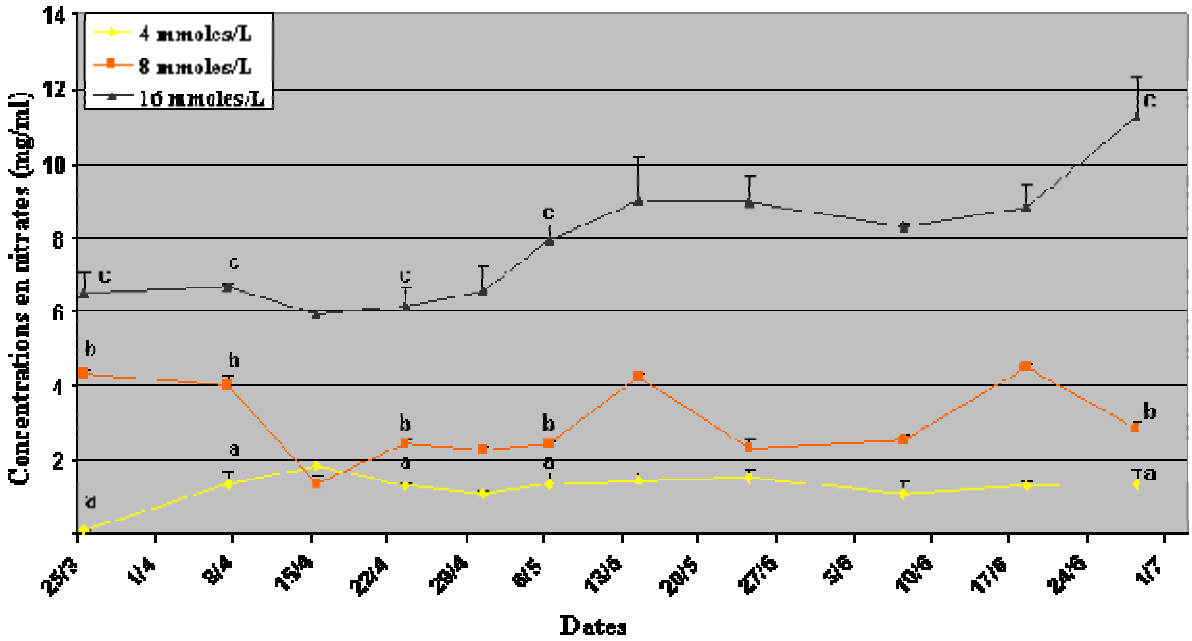


Figure 12: Evolution des concentrations en nitrate dans la sève de pétioles prélevés à partir des plantes soumises à trois régimes de fertilisation azotée. Les barres représentent les erreurs standards. Pour une date donnée, des lettres différentes indiquent des différences significatives au test de Student Newman et Keuls (p=0.05).

III- Effet de l'azote sur la sensibilité à l'oïdium et à *Botrytis cinerea*

III-1- Sensibilité à l'Oïdium

III-1-1- Indice d'attaque des feuilles par l'oïdium

L'indice global d'attaque par l'oïdium sur les feuilles était plus élevé pour les feuilles issues des plantes soumises aux régimes 8 et 16 mmoles/L d'azote que pour celles des plantes conduites sous le régime 4 mmoles/L (figure 13). Les valeurs étaient significatives pour l'un des deux tests (p=0,001).

III-1-2- Densité de taches sur les feuilles

Elle est exprimée par deux paramètres : le nombre de taches par feuille et le nombre de taches par cm^2 de surface foliaire. Pour les deux tests réalisés, les deux paramètres sont plus élevés pour les feuilles des plantes conduites sous les régimes 8 et 16 mmoles/L d'azote que pour celles des plantes conduites sous 4 mmoles/L (Figure 14). Même si les différences n'étaient pas toujours statistiquement significatives (au niveau p = 0,05), ces résultats montrent qu'un niveau élevé de fertilisation azotée favorise le développement d'*O. neolycopersici.* Ils sont compatibles avec les observations de Hoffland, (2001) et d'Abro (2009) dans une étude menée en conditions contrôlées sur des plantes en pot.

III-1-3- Diamètre des taches

Pour l'un des deux tests, le diamètre des taches d'oïdium était significativement moins élevé sur les feuilles issues des plantes soumises au régime 4 mmoles/L d'azote que sur celles des régimes 8 et 16 mmoles/L (Figure 15). Cependant, une forte variabilité et aucune différence significative n'a été enregistrée pour l'autre test.

III-1-4- Sporulation

Le nombre de spores produites par colonie d'oïdium a été fortement variable d'un test à l'autre (Figure 16). Outre l'effet de conditions climatiques différentes pendant les deux périodes concernées, ceci pourrait être lié en partie au fait que les observations ont été réalisées 15 jours après inoculation pour le premier test et 17 jours après pour le deuxième test. Pour l'un d'entre eux (Test 2), le nombre de spores produites était significativement plus élevé sur les feuilles issues des plantes soumises au régime 16 mmoles/L d'azote que sur les feuilles des plantes soumises au régime 4 mmoles/L et 8 mmoles/L. Ce résultat est compatible avec ceux de Hoffland et *al*. (2000) qui ont montré qu'une augmentation du niveau de fertilisation azotée conduisait à une plus grande production de spores et aurait donc un effet positif sur le développement de la maladie. D'autres auteurs ont montré qu'un niveau élevé de la fertilisation azotée entraine une accumulation de l'azote total dans les tissus de la plante et crée des conditions favorables pour le développement du champignon d'oïdium (Ahmad et *al.*, 1982 ; Farrar, 1995), qui est considéré comme parasite obligatoire s'installant à la surface des tissus et puisant l'azote sous forme de nitrates, d'ions ammonium, d'acides aminés, d'amides et de protéines de la plante par des haustorias (Snoeijers et *al*., 2001)

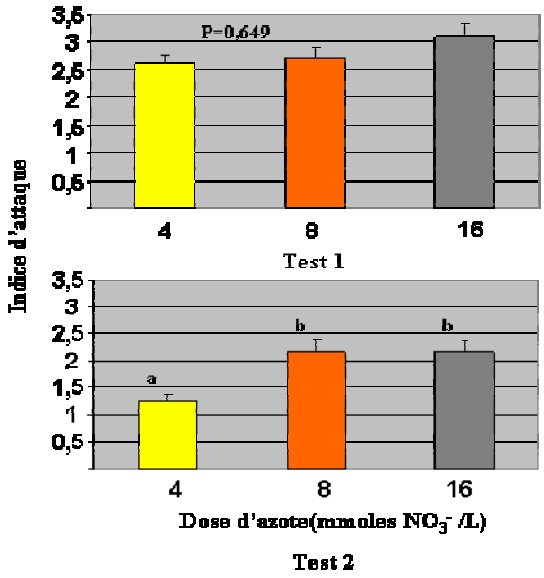


Figure 13 : Variation de l'indice d'attaque en fonction du niveau d'azote. Les barres représentent les erreurs standard. Pour un test donné, des lettres différentes indiquent des différences significatives (P=0,05) selon le test de Student Newman et Keuls.

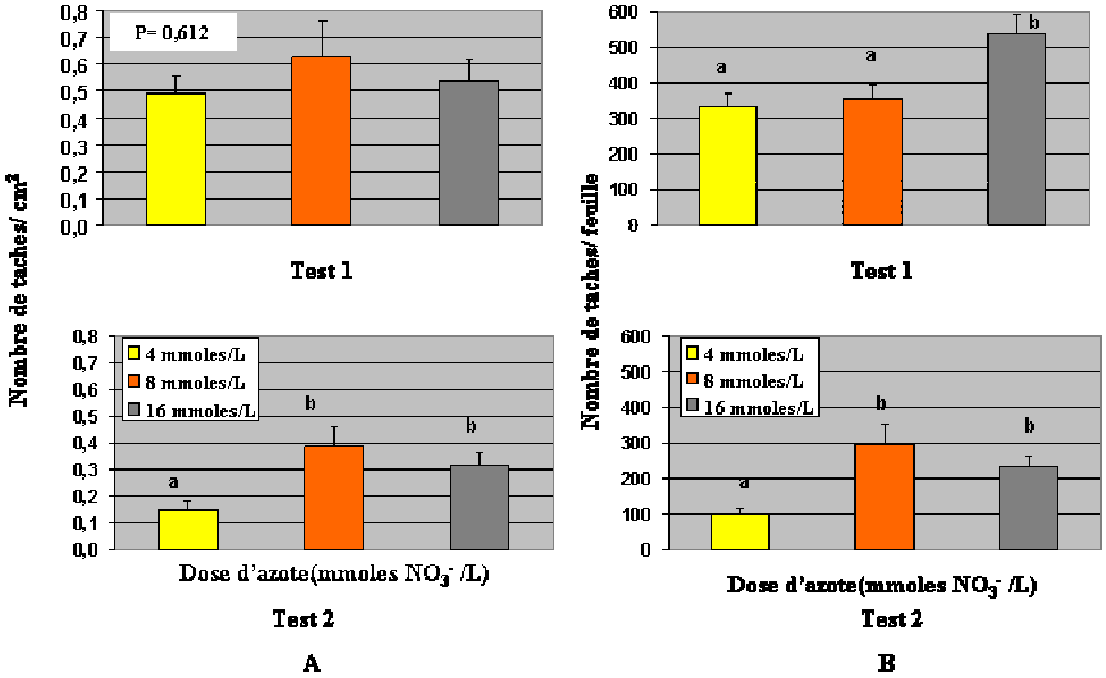


Figure 14 : Effet du niveau de la fertilisation azotée sur la densité des taches d'oïdium sur les feuilles. A- Densité par feuille, B- Densité par cm^2 de surface foliaire. Les barres représentent les erreurs standard. Pour un test donné, des lettres différentes indiquent des différences significatives (P=0,05) selon le test de Student Newman et Keuls.

III-2- Sensibilité à *Botrytis cinerea*

III-2-1- Développement de lésion sur fruits

Trois jours après l'inoculation, nous avons remarqué le développement de pourriture sur fruits et ce pour les deux tests réalisés. La sévérité globale exprimée par le diamètre moyen de lésion a été variable d'un test à l'autre, d'une souche à une autre et d'un niveau d'azote à un autre. Pour l'un des deux tests, les fruits récoltés à partir des plantes sous régime de fertirrigation R1 (4 mmoles NO_3^- /L) présentaient des lésions de diamètre moyen systématiquement plus petit que ceux des régimes R2 (8 mmoles/L NO_3^-) et R3 (16 mmoles/L NO_3^-) (Figure 17). Ce phénomène était bien visible pour cinq des six souches de *B. cinerea* étudiées (BC1, BC21, BC43, BC44 et NHPM4) et pour deux d'entre elles (BC43 et NHPM4), les différences étaient statiquement significatives le 8ème jour après l'inoculation.

III-2-2- Infection des plaies d'effeuillage et le développement de chancres sur tiges

L'inoculation des plaies d'effeuillage avec la souche BC1 a été suivie d'une colonisation des fragments de pétiole laissé sur la tige, puis d'un développement de chancres sur les tiges environ 7 jours après l'inoculation. La sévérité des attaques, estimée par la longueur moyenne de chancres, a été variable d'un test à l'autre (Figure 18), mais à chaque fois l'accrroissement de la fertilisation azotée a eu un effet favorisant significatif sur le développement de *B. cinerea*. Pour les deux tests, la longueur moyenne des chancres mesurés à 10 et à 14 jours après l'inoculation et les AUDPC était significativement plus importante sur les plantes conduites avec de faible niveau d'azote (4 mmoles/L) que sur les plantes à fortes doses d'azote (8 et 16 mmoles/L). Ces résultats confirment ceux de Lebkara (2010) qui a constaté que la longueur moyenne de chancre était plus importante sous faible fertilisation azotée (7,8 mmoles de nitrate par litre de solution nutritive) que sous forte fertilisation azotée (15,5 mmoles /L). Des résultats similaires ont également été obtenus au laboratoire par Lecompte et *al.* (2010).

III-2-3- Nécroses foliaires

Dans chacun des deux tests réalisés, l'inoculation a été suivie du développement rapide de lésions (24 h) sur les feuilles et ce pour toutes les souches de *B. cinerea* testées (Figure 19)**.** Cependant, la sévérité de l'attaque est liée à la souche et à la dose d'azote utilisé. Pour les deux tests, la surface moyenne de lésion observée 48 h après l'inoculation, était systématiquement plus importante pour les disques foliaires prélevés sur des plantes de 4 mmoles en nitrates/L que pour ceux prélevés sur des plantes de 8 et de 16 mmoles/L. Des différences significatives entre les niveaux d'azote ont été observées essentiellement pour les souches BC1, BC43 et BC44.

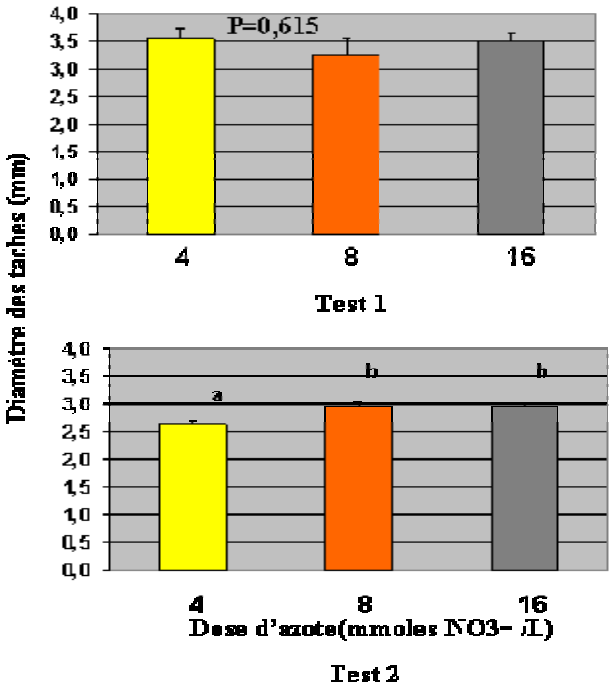


Figure 15: Effet du niveau de la fertilisation azotée sur le diamètre de taches d'oïdium sur les feuilles. Les barres représentent les erreurs standard. Pour un test donné, des lettres différentes indiquent des différences significatives (P=0,05) selon le test de Student Newman et Keuls.

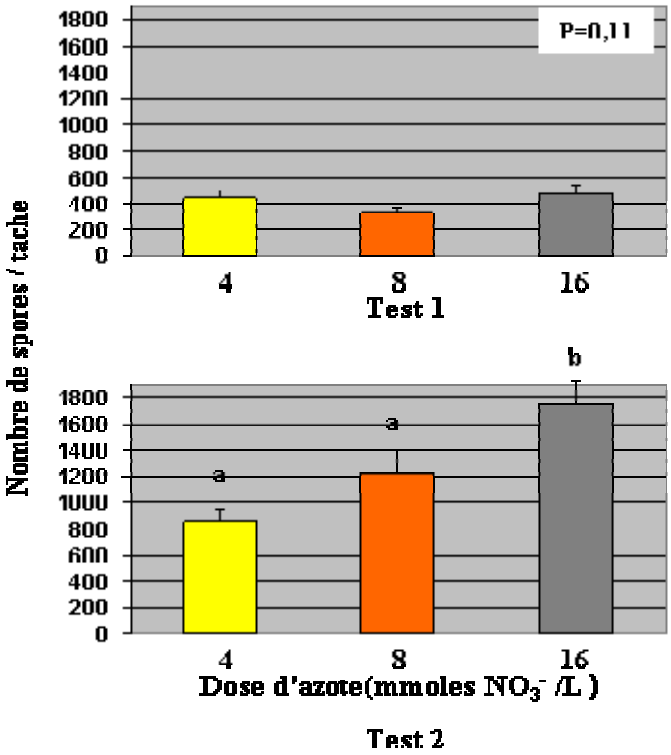


Figure 16: Effet du niveau de la fertilisation azotée sur le nombre de spores. Les barres représentent les erreurs standard. Pour un test donné, des lettres différentes indiquent des différences significatives (P=0,05) selon le test de Student Newman et Keuls

Comme dans le cas des fruits, la surface de lésion semble être plus importante sur disques foliaires inoculés avec des souches connues pour leur agressivité. Ces résultats sont compatibles avec ceux trouvés par Lebkara (2010). D'une manière générale l'effet de la fertilisation azotée est contrasté : son augmentation se traduit par l'augmentation de la sensibilité à l'oïdium (Tompkins et *al*., 1992 ; Jensen et Munk, 1997) et la diminution de sa sensibilité à *B. cinerea* (Antoine, 2008). Ces différences résultent de mécanismes complexes dépendant du pathosystème considéré.

.

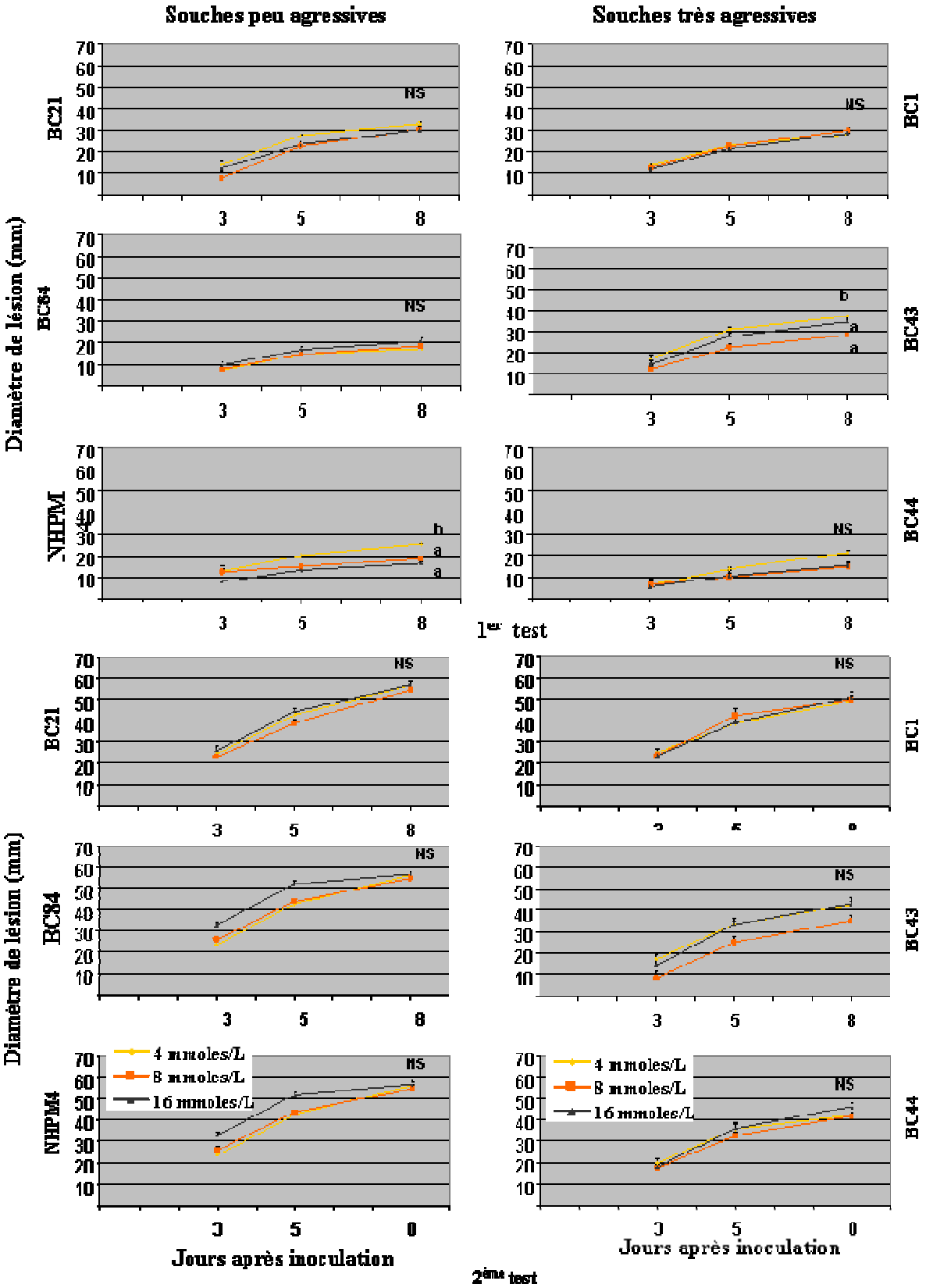


Figure 17: Effet du régime de la fertilisation azotée sur le développement de lésions de *B. cinerea* sur les fruits avec six souches différentes. Les barres représentent les erreurs standard. Pour un test et une souche donnée, des lettres différentes indiquent des différences significatives au test de Student Newman et Keuls. NS : Non significative (p<0,05). L'analyse statistique ne concerne que les données pour le 8e jour après inoculation.

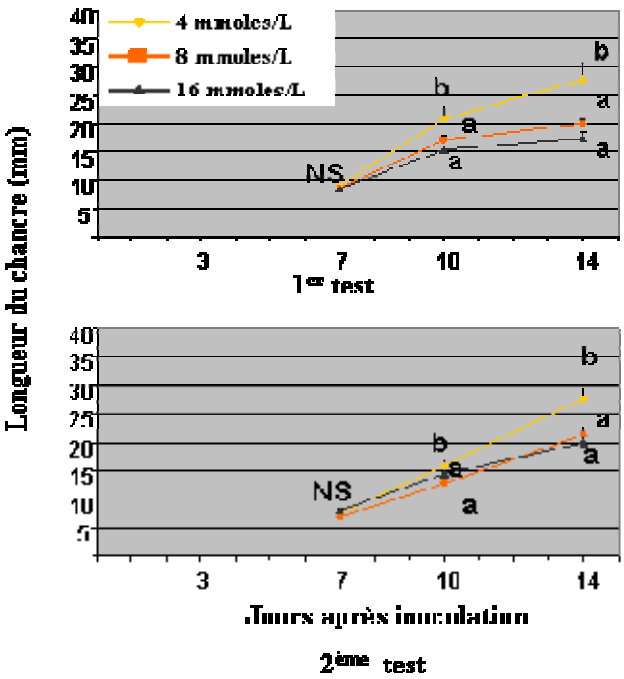


Figure 18: Effet du régime de la fertilisation azotée sur le développement de chancres sur tiges après inoculation des plaies d'effeuillage avec la souche BC1 de *B. cinerea.* Chaque point représente la moyenne de 36 données. Les barres représentent les erreurs standard. Pour un test donné, des lettres différentes indiquent une différence significative (p=0,05) au test de Student Newman et Keuls

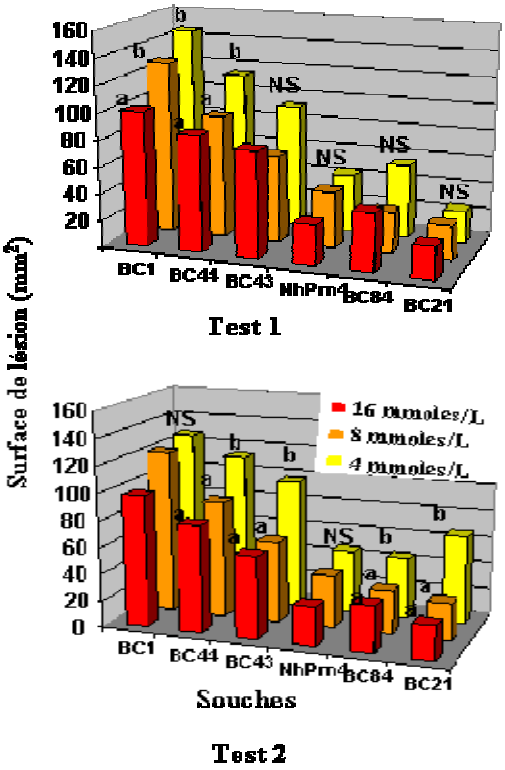


Figure 19: Effet du régime de la fertilisation azotée sur la sensibilité de disques foliaires à six souches de *B. cinerea*. Pour un test et une souche donnée, des lettres différentes indiquent des différences significatives entre les 3 niveaux d'azote au test de Student Newman et Keuls.

Conclusions

Conclusions

L'oïdium et la pourriture gris*e* demeurent encore à ce jour les deux plus importantes maladies aériennes de la tomate sous serre. Cette étude originale basée sur la fertilisation azotée apporte des éléments de réponse pour contrôler ces deux agents pathogènes.

Les résultats obtenus à travers cette étude comparant trois régimes de fertirrigation sont encourageants. Ces résultats tendent à montrer que la tomate soumise à la dose d'azote de 16 mmoles/L est pour de nombreux paramètres enregistrés, plus sensible aux attaques d'oïdium et moins sensible aux attaques de *B. cinerea*. A contrario, ces résultats tendent à s'inverser lorsque la tomate est soumise à la dose d'azote de 4 mmoles/L.

Dans les conditions de cette étude, nous avons pu constater que les 3 doses d'azote pratiquées n'affectent pas significativement le rendement.

On peut préconiser une voie médiane d'apport en azote, entre 4 et 8 mmoles/L soit 6 mmoles/L tout en maintenant un taux de drainage de 30%. Il conviendrait dans le futur de faire des tests en associant ces concentrations en azote aux différents types de solutions préconisées en fonctions des stades de culture.

Pour discuter de ce qui se passerait en conditions naturelles, en production, des tests doivent être menés sans inoculation artificielle avec des stratégies d'azote différentes pour évaluer le risque épidémiologique réel de l'une ou l'autre de ces 2 maladies.

A la lumière de l'ensemble de résultats obtenus et compte tenu du fait que les risques épidémiologiques sont séparés dans le temps, on pourrait envisager d'utiliser la nutrition azotée comme outil adaptable consistant à utiliser des concentration assez élevés au printemps lorsqu'il y a encore du risque du *B. cinerea*, et des concentrations diminuée en se rapprochant de l'été, pour défavoriser l'oïdium. En termes économiques, on diminue ainsi les charges avec des économies d'engrais azoté et bien sur de pesticides.

Par ailleurs, les résultats montrent cependant qu'avec une conduite d'irrigation avec un taux de drainage de l'ordre de 30 % l'appauvrissement en azote doit être contrôlé. Donc, il serait intéressant d'évaluer l'impact de régimes de fertilisation azotée sur la qualité des fruits. Dans ce sens, des tests d'évaluation de la qualité organoleptique des fruits (test de dégustations, mesure de certaines caractéristiques physiques et chimiques des fruits,…) ont déjà été commencés durant cette étude à la station d'Alénya et les résultats seront disponibles bientôt.Il faudrait également évaluer l'effet de la fertilisation azotée sur d'autres bioagresseurs économiquement importants de la tomate sous serre (par exemple les aleurodes, les pucerons…).

En conclusion, il apparaît que de nombreux travaux sont encore essentiels dans le but d'élaborer une stratégie de fertilisation optimale permettant de contrôler les différents groupes de bioagresseurs et d'avoir une production optimale en quantité et en qualité.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

Abro M.A. and Nicot P., 2009. Effect of nitrogen fertilization on the susceptibility of tomato & lettuce plants to plant pathogens & on efficacy of biocontrol agents. *Master 2 GQPV Phtoprotection (Research)* Université d'Avignon et des Pays du Vaucluse UFR Sciences exactes-Pole Agrosciences. 25 pp.

Adatia M.H. and Besford R.T., 1989. The Effects of Silicon on Cucumber Plants Grown in Recirculating Nutrient Solution. Oxford Journals Life Sciences Annals of Botany Volume58, Issue3 Pp. 343-35.

Agrios G.N., 1992. Plant pathology.Fifth edition. University of Florida. p 434.

Ahmad I., Owera S.A.P., Farrar J.F., Whitbread R., 1982.The distribution of five major nutrients in barley plants infected with brown rust. Physiological Plant Pathology, 21, 335–346.

Anonyme, 1999. Tomate Sous serre. MADREF/DERD. Bulletin mensuel d'information et de liaison du PNTTA Transfert de technologie en agriculture, Maroc. Fiche technique. 5ps.

Anonyme, 2005. Tomato Diseases Powdery Mildew. Oidiopsis (*Leveillula taurica*), *Oidium neolycopersici*. AVRDC- The World Vegetable Center Fact Sheet.

Anonyme, 2010. Bureau des Statistiques sur les Productions et les Comptabilités Agricoles. France. 2p.

Anonyme, 2010b. Protection phytosanitaire. Tomate sous abris froid en Roussillon. Fiche technique 03-2010- Civambio 66.

Antoine W., 2008. Facteurs d'efficacité de la protection contre *Botrytis cinerea* a l'aide du champignon *Microdochium dimerium* L13 en culture de tomate sous abris. Master 2 rapport de stage, Institut national d'horticulture.

AVRDC, 2005. Tomato Diseases Powdery Mildew. Oidiopsis (*Leveillula taurica*), *Oidium neolycopersici*. AVRDC- The World Vegetable Center Fact Sheet, 2ps.

Blanc D., 1987. Les cultures hors sol INRA édition.

Blancard D., Laterrot H, Marchoux G. et Candresse T., 2009. Les maladies de la tomate, identifier connaitre maitriser. Quae éditions Paris. PP 571 ; 599 : 603.

Weil et Duval, 2009)

Brun-zaoui, 2010. Tomate, raisonnement de la fertilisation. Bureau d'étude Agro-challenge Agriculture du Maghreb n°47.

Decognet V.F., Raveitti F., Martin C. and Nicot P., 2010. Improved leaf pruning reduces development of stem cankers caused by grey mould in greenhouse tomatoes. Agronomy for sustainable development 30, 2: 465-472.

Dik, A. J. and Wubben J. P., 2004. Epidemiology of *Botrytis cinerea* diseases in greenhouses. Botrytis biology, pathology and control, pp. 319-333.

Douglas S.M., 2003. Powdery mildew of tomato. Department of plant pathology and ecology *The* Connecticut Agricultural Experiment Station. New Haven.

Falk S.P., Gadoury D.M., Pearson R.C. and Seem R.C., 1995 Partial control of grape powdery mildew by the mycoparasite *Ampelomyces quisqualis*. Plant Dis. 79, 483–490.

FAO, 2009. http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx

Farrar J.F., 1995 Just another sink? Sources of assimilate for foliar pathogens. Aspects of Applied Biology. Physiological Responses of Plants to Pathogens, 42, 81–89.

Fletcher, J.T., Smewin, B.J. and Cook, R.T.A., 1988.Tomato powdery mildew. Plant Pathol. 37, 594–598. **http://ephytia.inra.fr/tomate_utilisateur/index_appli.php?port…).**

Gossellin, A., Chalifour, F.-P., Trudel, M. J. et Gendron, G., 1984. Influence de la température du substrat et de la fertilisation azotée sur la croissance, le développement, la teneur en azote et I' activité de la nitrate réductase chez la tomate. Can. J. Plant Sci. 64: 181-191.

Hajlaoui M.R., Benhamou N. and Belanger R.R., 1992 Cytochemical study of the antagonistic activity of *Sporothrix flocculosa* on rose powdery mildew, *Sphaerotheca* pannosa *var. rosae*. Phytopathol, 82, 583–589.

Hijwegen T., 1992. Biological control of cucumber powdery mildew with Tilletiopsis minor under greenhouse conditions. Neth. J. Plant Pathol. 98, 221–225.

Hoffland E., Van Beusichem M. L. and Jeger M. J., 1999a. Nitrogen availability and susceptibility of tomato leaves to *Botrytis cinerea*. Plant Soil, 210, 263–272.

Hoffland E., Van Beusichem M. L. and Jeger M. J., 2000. Effect of nitrogen supply rate on disease resistance in tomato depends on the pathogen. Plant and soil, 218: 239-247.

Huang C-C., Groot T., Meijer-Dekens F., Niks R. E. and Lindhout P., 1998. The resistance to powdery mildew (*Oidium lycopersicum*) in *Lycopersicon* species is mainly associated with hypersensitive response. Eur. J. Plant Pathol. 104, 399–407.

Huang C.-C., Biesheuvel J., Lindhout P. and Niks R.E., 2000 Host range of *Oidium lycopersici* occuring in the Netherlands. Eur. J. Plant Pathol. 106, 465–473.

Huber D. M. and Watson R D., 1974. Nitrogen form and plant disease.Annu. Rev. Phytopathol. 12, 139–165.

Jensen B. and Munk L., 1997.Nitrogen induced changes in colony density and spore production of Erysiphe graminis f.sp. hordei on seedlings of six spring barley cultivars. Plant Pathology, 46, 191–202.

Johnson R. and Taylor A .J., 1976. Spore yield of pathogens in investigations of the race specificity of host resistance. Annu. Rev. Phytopathol. 14, 97–119.

Jones, H.E., Whipps, J.M., Thomas, B.J., Carver, T.L.W. and Gurr, S.J. (2000) Initial events in the colonization of tomatoes by Oidium lycopersici, a distinct powdery mildew fungus of Lycopersicon species. Can J. Bot. **78**, 1361–1366.

Jones, H.E. 2001 Identification and development of the tomato powdery mildew fungus, *Oidium lycopersici*. DPhil thesis. University of Oxford.

Kiss L., 1996. Occurrence of a new powdery mildew fungus (Erysiphe sp.) on tomatoes in Hungary. Plant Dis. 80, 224.

Kiss L., Cook R.T.A., Saenz G.S., Cunnington J.H., Takamatsu S., Pascoe I., Bardin M., Nicot P.C., Sato Y. and Rossman A.Y., 2001. Identification of two powdery mildew, *Oidium neolycopersici* sp. nov. and *Oidium lycopersici*, infecting tomato in different parts of the world. Mycol. Res. 105, 684–697.

LaMondia J.A., 1999. Host range of *Oidium lycopersicum* on selected solanaceous species in Connecticut. Plant Dis. 83, 341–344.

Lebkara T., 2010. L'effet de la fertilisation azotée sur la sensibilité de la tomate à *Botrytis cinerea* en situation de production. Mémoire de fin d'études du Master 3A, Hortimet, SUPAGRO Montpellier. 24 pp.

Lecompte F, Abro M.A and Nicot P.C, 2010. Contrasted responses of *Botrytis cinerea* isolates developing on tomato plants grown under different nitrogen nutrition regimes. Plant Pathology (2010). 59 : 891-899.

Letard M., Erard P., Jeannequin B., 1995. Maîtrise de l'irrigation fertilisante. Tomate sous serre et hors sol. CTIFL. 220p.

Lindhout, P., Pet, G. and van der Beek, J.G. (1994a) Screening wild Lycopersicon species for resistance to powdery mildews (Oidium lycopersicum). Euphytica, **72**, 43–49.

Lindhout, P., van der Beek, J.G. and Pet, G., 1994b. Wild Lycopersicon species as sources for resistance to powdery mildew (*Oidium lycopersicum*). mapping of the resistance gene OL-1 on chromosone of L. hirsutum. Acta Hort. **376**, 387–394.

Luttrell ES, 1955. The ascostromatic ascomycetes. Mycologia 47: 511-532.

MASSON J., Trempblay N. et Gosselin A, 1990. Effets de la fertilisation azotée sur la croissance de transplants de tomate et de laitue cultivés en plateaux multicellulaires avec on sans éclairage d'appoint. Can. J. Plant Sci: 70: 1199-1205.

Mieslerova B. and Lebeda A., **1999**.Taxonomy, distribution and biology of the tomato powdery mildew (Oidium lycopersici). J. Plant Dis. Prot. 106**,** 140–157.

http://www.agrireseau.qc.ca/Rap/documents/bp07cs06.pdf 2006.

Morard, P. 1995. Les cultures végétales hors sol. Publications Agricoles, Agen, France. 303 pp.

Morard, P. et Martinez, S. 2001. Un progrès pour le recyclage en culture hors sol. Fruits et Légumes 197: 36–39.

Morard P., Caumes E. et Silvestre J., 2003. Influence de la concentration de la solution nutritive sur la croissance et la nutrition minérale de la tomate. Canadian Journal of Plant Science, 2004, 84 :(1) 299-304.

Nam M. H., Jeong S. K., Lee Y. S., Choi J. M., Kim H.G., 2006. Effects of nitrogen, phosphorus, potassium and calcium nutrition on strawberry anthracnose. Plant Pathology. 55, 246-249.

Petit A.N., 2008. Effets de fongicides anti-Botrytis sur les organes végétatifs et reproducteurs de la vigne. Pages 129 Université de Reims Champagne-Ardenne.

Polèse J.M., 2007. La culture des tomates, Artemis édition. EAN13 : 9782844165534

Ramel J.M., 2008. *Tuta absoluta*, éléments de reconnaissance, ANITTA 13

Reuveni M., Agapov V. and Reuveni R., 1994. Induced systemic protection to powdery mildew in cucumber by phosphate and potassium fertilisers. effects of inoculum concentration and post-inoculation treatment. Can. J. Plant Pathol. **17**, 247–251.

Reuveni M., Agapov V. and Reuveni R. ,1996 Controlling powdery mildew caused by Sphaerotheca fuliginea in cucumber by foliar sprays of phosphate and potassium salts. Crop. Prot. **15**, 49–53.

Sandor S. Snoeijers, Alejandro Pérez-García, Matthieu H.A.J. Joosten and Pierre J.G.M. De Wi, 2000. The Effect of Nitrogen on Disease Development and Gene Expression in Bacterial and Fungal Plant Pathogens. European Journal of Plant Pathology Volume 106, Number 6, 493-506, DOI: 10.1023/A:1008720704105

Shaner, G., and R. E. Finney. 1977. The effect of nitrogen fertilization on the expression of slow-mildewing resistance in Knox wheat. Phytopathology 67: 1051-1056

Smith V.L., Douglas S.M. and LaMondia J.A., 1997. First report of powdery mildew of tomato caused by an Erysiphe sp. in Connecticut Plant Dis. **81**, 229–263.

Snoeijers S.S., Perez-Garcia A., Joosten M.H.A.J., De Wit P.J.G.M., 2000. The effect of nitrogen on disease development and gene expression in bacterial and fungal plant pathogens. European Journal of Plant Pathology, 106, 493–506.

Tompkins D.K., Wright A.T., Fowler D.B., 1992. Foliar disease development in no-till winter wheat: influence of agronomic practices on powdery mildew development. Canadian Journal of Plant Science, 72, 965–972.

Tremblay N. et Perron Y. 1991. Effets de la fertilisation azot6e et des conditions d'application de l'éthéphon sur la productivité de la tomate de transformation cv. Heinz 2653. Can. J. Plant Sci. 71: 1203-1209 .

Trottin-Caudal Y., Fournier C., Leyre J.M., Nicot P., Decognet V., Bardin M., Romiti C. 2001. Lutte biologique contre *Botrytis cinerea* et *Oidium neolycopersici*. *PHM revue horticole* 428:13-15.

Trottin-Caudal Y., Fournier C., Leyre J.M., Decognet V., Romiti C., Nicot P.C., Bardin M., 2003. Efficiency of plant extract from *Reynoutria sachalinensis* (Milsana) to control powdery mildew on tomato (*Oidium neolycopersici*). *International Symposium on Greenhouse Tomato, Avignon, France* pp 11-15.

Verhaar M.A., Ostergaard K.K., Hijwegen T. and Zadoks J.C., 1997. Preventative and curative applications of Verticillium lecanii for biological control of cucumber powdery mildew. Biocontrol. Sci. Technol. **7**, 543–551.

Volpin H.and Elad Y., 1991. Influence of calcium nutrition of susceptibility of rose flowers to Botrytis blight. Phytopathology 81: 1390-1393.

Voogt W. and Bloemhard C., 1994. Solutions nutritives pour cultures sous serre, Pays-Bas.

Weil A. et Duval J., 2009. Module 4, Production de transplants et de légumes en serre- chapitre 7, « «Cultures en serre », manuscrit du Guide de gestion globale de la ferme maraîchère biologique et diversifiée.

Whipps, J.M., Budge, S.P. and Fenlon, J.S., 1998. Characteristics and host range of tomato powdery mildew. Plant Pathol. 47, 36–48.

Williamson B., Tudzynski B., Tudzynski, P. and Van Kan J.A.L., 2007. *Botrytis cinerea:* the cause of grey mould disease. Molecular plant Pahtology 8: 561-580.

Annexes

Annexe 1

Liste de quelques fongicides utilisés en France contre l'oïdium de la tomate.

Spécialité	Substance	Dose d'emploi	Date de référence
BOSCAPYR	Boscalid (510) 267 G/KG+ Pyraclostrobine 67 G/KG	0.500 KG/HA	01/02/2010
SYSTHANE 12 E	Myclobutanil 125 G/L	0.600 L/HA	02/08/2001
SYSTHANE 20 EW	Myclobutanil 200 G/L	0.375 L/HA	15/12/2010
SYSTHANE PRO	Myclobutanil 125 G/L	0.600 L/HA	02/08/2001
SYSTHANE MAX	Myclobutanil 240 G/L	0.312 L/HA	05/10/2001
ORTIVA JARDIN	Azoxystrobine 250 G/L	0.800 L/HA	15/05/2011
MYCLOSS FORTDOW	Myclobutanil 200 G/L	0.375 L/HA	15/01/2011
ORTIVA	Azoxystrobine 250 G/L	0.800 L/HA	15/05/2011
EXPADRIONDOW	Myclobutanil 240 G/L	0.312 L/HA	11/10/2002
MYCLOSS FORTDOW	Myclobutanil 200 G/L	0.375 L/HA	15/01/2011
NIMROD	Bupirimate 250 G/L	2.000 L/HA	08/06/2001
IRVY	Myclobutanil 60 G/L	1.250 L/HA	02/08/2001
NIMFERT	Bupirimate 250 G/L	2.000 L/HA	01/02/2001
PLANTISOUFRE SP	Soufre micronise 80 %	7.500 KG/HA	09/06/200
THIOVIT JET MICRO BILLE	Soufre micronise 80 %	7.500 KG/HA	02/06/2006
ORTIVA GOLD	Azoxystrobine 250 G/L	0.800 L/HA	15/05/2011
ATOMIUM	Myclobutanil 45 G/L	1.660 L/HA	15/12/2010
NIMFERT	Bupirimate 250 G/L	2.000 L/HA	01/02/2001
OIDIASE 80	Soufre micronise 80 %	7.500 KG/HA	02/06/2006
THIOCUR ECDOW	Myclobutanil 125 G/L	0.600 L/HL	05/10/2001

Source : Source=MAP/e-phy 31/08/2011 (http://e-phy.agriculture.gouv.fr/usa/16953206.htm)

Annexe 2

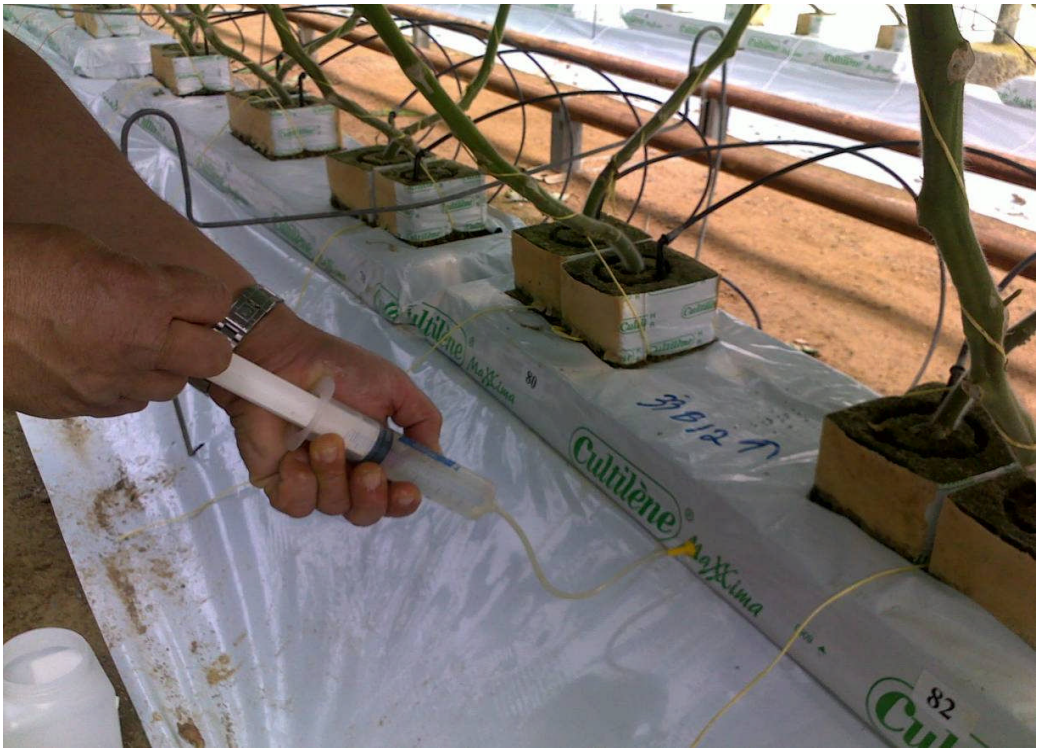
Dispositifs de plantes de tomate dans la serre d'essai

Annexe 3

Palissage des plantes dans la serre d'essai

Annexe 4

Prélèvement de la solution nutritive dans le substrat



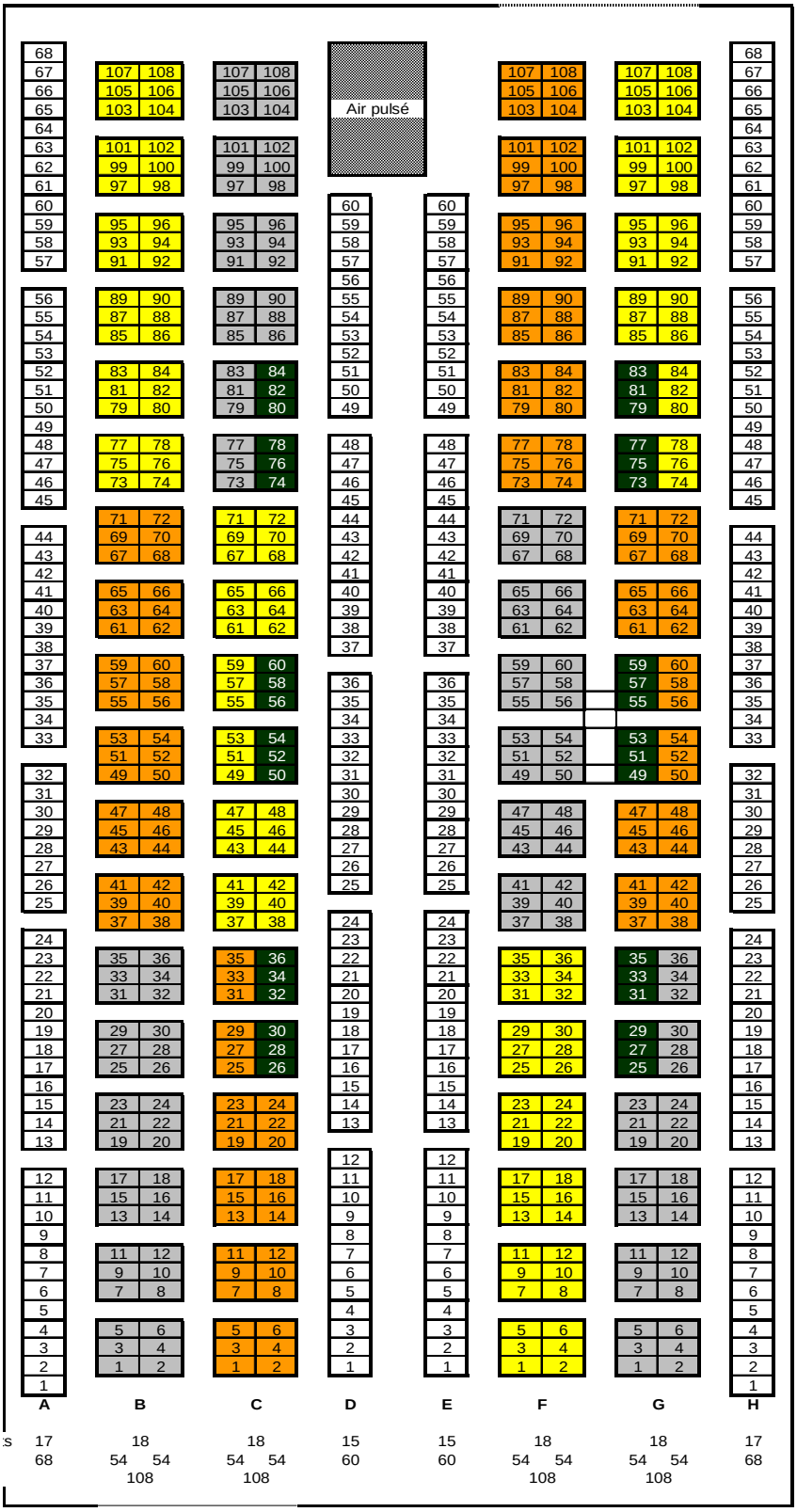
Annexe 5

Plan de la serre d'essai

S30 **Essai Oïdium - tomate Climberlay 2011**

Observation du développement de l'oïdium

16 meq 72 **8 meq** 90 **4 meq / L** 12 **N =prod.** 36 **parcelle agro**



Annexe 6

Plan des inoculations d'oïdium dans la serre d'essai

S30 Essai inoculation Oïdium - Botrytis - tomate Climberlay 2011

pour l'inoculation de l'Oïdium sur feuille en serre le 10 mai

36 **16 meq** 72 **8 meq** 90 **4 meq / L** 12 **N =standard** 36 **parcelle a**

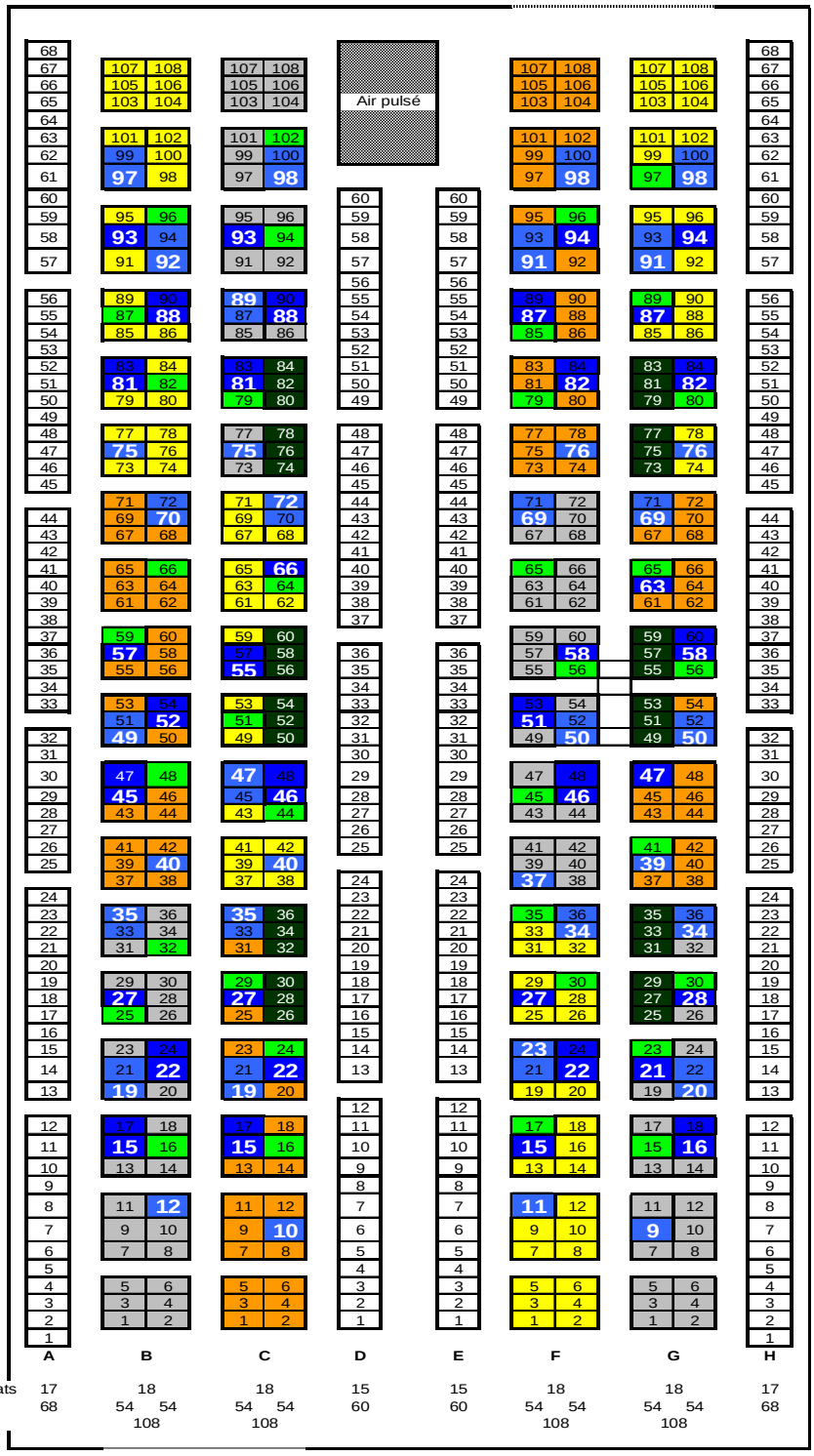
21 1ère inoc Oïdium le 5 avril

97 2ème inoc Oïdium le 10 mai

21 1 feuille enlevée pour analyse F.L. le 5 avril

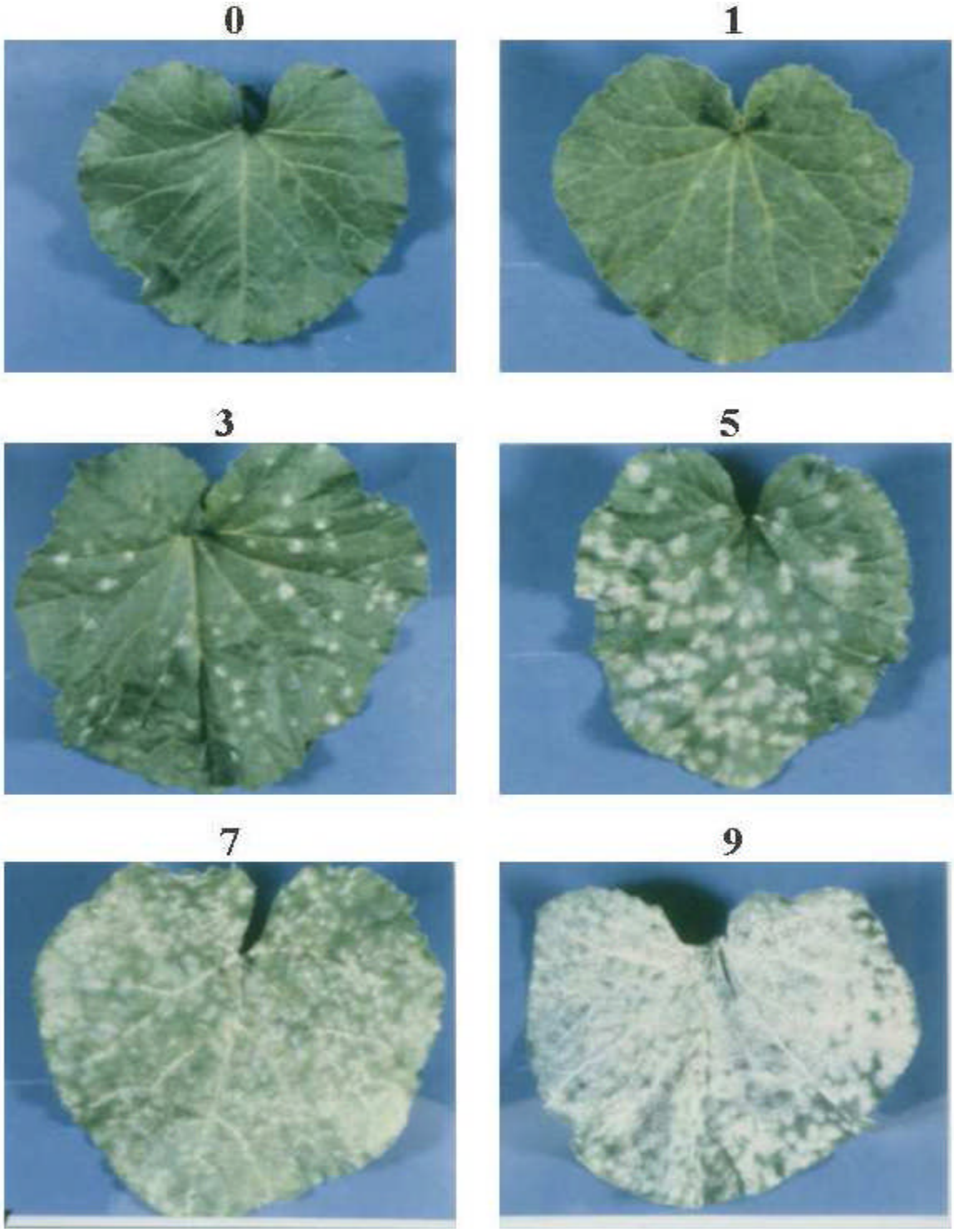
97 1 feuille enlevée pour analyse F.L. le 10 mai

3ème inoc Oidium le 22 juin



Annexe 7

L'indice d'attaque d'oïdium sur les feuilles de melon



Source : INRA Avignon, 2008

MINISTERE DE L'AGRICULTURE Montpellier SupAgro	**Master 3A (Agronomie et Agroalimentaire)** **Spécialité : Hortimet** **Parcours : Horticulture méditerranéenne et tropicale** **Enseignant responsable de l'option : J.L. Regnard et E. Geoffriau** **Tuteur : J.L. Regnard**	AGRO CAMPUS OUEST **Centre d'Angers** **Institut National d'Horticulture et de Paysage**
Auteur(s) : **Saddik OZAYOU**		**Organisme d'accueil : INRA** **Adresse :** **INRA Alénya-Domaine expérimental horticole du Mas Blanc.** **INRA Avignon Unité de Pathologie végétale Domaine St Maurice Montfave** **Maîtres de stage :** **Philippe NICOT** **Robert FABRE** **Benoit JANNEQUIN**
Nb pages : **25** Annexe(s) : 7		
Année de soutenance : 2011		

Titre : Effet de pratiques de fertilisation azotée sur la sensibilité d'une culture de tomate à l'oïdium et la pourriture grise en conditions de production sous serre.

Résumé :

L'azote est le principal élément nutritif utilisé pour le contrôle des maladies aériennes sous abris. Dans ce stage, nous avons étudié l'effet de trois régimes de fertilisation azotée (4 mmoles/L, 8 mmoles/L et 16 mmoles/L) sur la physiologie de la plante et la sensibilité de la tomate à l'*Oidium neolycopersici* et à *Botrytis cinerea* en conditions de production sous serre. Pour ce faire, nous avons inoculé différents organes aériens des plantes dans la serre ou au laboratoire de l'INRA d'Alénya. Les résultats montrent qu'une forte fertilisation azotée augmente la sensibilité des plantes à l'*O. neolycopersici* sur les feuilles et diminue la sensibilité des plantes à *B. cinerea* sur les feuilles et sur les plaies d'effeuillage. Un effet similaire a été observé sur fruits mais les résultats n'étaient pas significatifs De même, une forte fertilisation azotée a un effet significatif sur la matière fraiche et la matière sèche mais pas d'effet significatif sur le rendement en fruits commercialisés. La dose 8 mmoles/L de nitrate a des effets intermédiaires sur tous les paramètres mesurés.

Abstract :

Nitrogen is the main nutrient used to control air-borne diseases in shelters. In this course, we studied the effect of three nitrogen fertilization regimes (4 mmol / L, 8 mmol / L and 16 mmol / L) on the physiology of the plant and the susceptibility of tomato to *Oidium neolycopersici* and to *Botrytis cinerea* in glasshouse conditions. To do this, we inoculated different aerial organs of plants in the greenhouse and laboratory of INRA Alenya. The results show that high nitrogen fertilization increases plant susceptibility to *O. neolycopersici* on the leaves and reduces the susceptibility of plants to *B. cinerea* on the leaves and on the pruning wounds. A similar effect was observed on fruits but results were not significant. Similarly, a high nitrogen fertilizer has a significant effect on the fresh and dry matter, but no significant effect on the total yield of marketable fruit. The 8 mmol / L dose of nitrate has the intermediate effect on all plant parameters measured

Mots-clés : Azote, fertilisation azotée, sensibilité, tomate, *Oidium neolycopersici, Botrytis cinerea.*
Keywords: Nitrogen, Nitrogen fertilization, susceptibility, tomato, *Oidium neolycopersici, Botrytis cinerea.*